

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1982:101

ENNUSTE LEUVAN ALTAAN VAIKUTUKSESTA
SIIKAJOEN TILAAN

Erkki Alasaarela

~~A7~~

V E S I H A L L I T U K S E N M O N I S T E S A R J A

1982:101

ENNUSTE LEUVAN ALTAAN VAIKUTUKSESTA
SIIKAJOEN TILAAN

Erkki Alasaarela



Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen
voida vedota vesihallituksen virallisena kannanottona.

Oulun vesipiirin vesitoimisto
Oulu 1982

S I S Ä L L Y S

1.	JOHDANTO	1
2.	TUTKIMUKSEN RAJAUS JA TAVOITTEET	1
3.	SIIKAJOEN VESISTÖ	1
3.1	Yleiskuvaus	1
3.2	Tekoaltaat ja säännöstely	2
3.3	Virtaamat	2
4.	SIIKAJOEN VEDEN LAATU	4
4.1	Yleistä	4
4.2	Veden laadun kehittyminen	4
4.3	Nykyinen veden laatu	4
5.	SIIKAJOEN VESISTÖN KÄYTTÖ	7
5.1	Veden hankinta	7
5.2	Jätevesien lasku	7
5.3	Voimatalous	7
5.4	Kalatalous	7
5.5	Virkistyskäyttö	7
6.	LEUVAN ALLAS	7
6.1	Yleiskuvaus	7
6.2	Säännöstely	8
6.3	Viipymätarkastelu	8
6.4	Pohjan laatu	9
6.5	Altaaseen tulevan veden laatu	9
6.6	Vähävetisen uoman yleiskuvaus	9
7.	ALLASENNUSTEMALLIN MUODOSTAMINEN	12
7.1	Happimallin perusrakenne	12
7.2	Happimallin soveltuvuus Uljuan altaaseen	12
7.3	Happimallin soveltuvuus Hautaperän altaaseen	15
7.4	Happimallin soveltuvuus Leuvan altaaseen	15
7.5	Ainepitoisuuksien ja ainetaseiden ennustaminen	16
8.	HAUTAPERÄN ALTAAN VAIKUTUS KALAJOEN VEDEN LAATUUN	17
9.	ULJUAN ALTAAN VAIKUTUS SIIKAJOEN VEDEN LAATUUN	19
9.1	Yleistä	19
9.2	Happi	24
9.3	pH	26
9.4	Humus	26
9.5	Kiintoaine	26
9.6	Ravinteet	26
9.7	Leväkasvillisuus	27
9.8	Tilanteen kehittyminen	28
9.9	Merialue	28
9.10	Todetut haittavaikutukset	29
10.	ULJUAN JA HAUTAPERÄN TEKOAALTAIDEN VAIKUTUS SIIKAJOEN AINE- TASEISIIN	30
11.	LEUVAN ALTAAN VAIKUTUS	34
11.1	Yleistä	34
11.2	Altaan vaikutus eri kehitysvaiheissa	34
11.3	Talven happitilanne	34
11.3.1	Happitilanteeseen vaikuttavat tekijät	34
11.3.2	Laskentaperusteet	35
11.3.3	Happitilanne ilman lisätoimenpiteitä	37
11.3.4	Happitilanne Lamujoen vesiensäännöstelyn ja hape- tuksen jälkeen	37
11.3.5	Happitilanne täyttöuoman hapetuksen jälkeen	41

11.4	Kesän happitilanne	42
11.5	Muut ainepitoisuudet	42
11.6	Ainevirtaamat	42
11.7	Leväkasvillisuus	43
12.	LEUVAN ALTAAN VAIKUTUS SIIKAJOEN ALAOSAN VEDEN LAATUUN	43
13.	LEUVAN ALTAAN KOHDALLE JÄÄVÄN VÄHÄVETISEN UOMAN VEDEN LAATU	44
13.1	Vähävetisen uoman kuormitus	44
13.2	Kokemuksia muista vähävetisistä uomista	45
13.3	Ennuste porrastetun uoman tilasta	46
13.3.1	Yleistä	46
13.3.2	Tutkittavat tilanteet	46
13.3.3	Talvitilanne	46
13.3.4	Kesätilanne	51
13.3.5	Vähävetisen uoman tila	52
14.	TOIMENPITEET HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN TORJUMISEKSI	53
14.1	Altaan yläpuolinen vesistö	53
14.2	Allasalue	53
14.3	Vanha uoma	53
15.	TIIVISTELMÄ	54
SUMMARY		
KIRJALLISUUSLUETTELO		

ENNUSTE LEUVAN ALTAAN VAIKUTUKSESTA SIIKAJOEN TILAAN

1. JOHDANTO

Siikajokeen on suunniteltu Leuvan altaan rakentamista. Välittömästi suunnittelukohteen yläpuolella on Uljuan tekoallas, jonka haittavaikutuksista Siikajoessa on keskusteltu paljon. Seuraavassa ennakoidaan Leuvan altaan vaikutuksia veden laatuun. Happitilanne ennustetaan matemaattisen mallin avulla. Muilta osin sovelletaan tutkimustuloksia joita on saatu Pohjanmaan tekoaltaista, ennenmuuta Uljuan ja Hautaperän altaista. Tutkimusaineisto on pääosiltaan vesihallituksen hankkimaa. Työ on tehty Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimistolla.

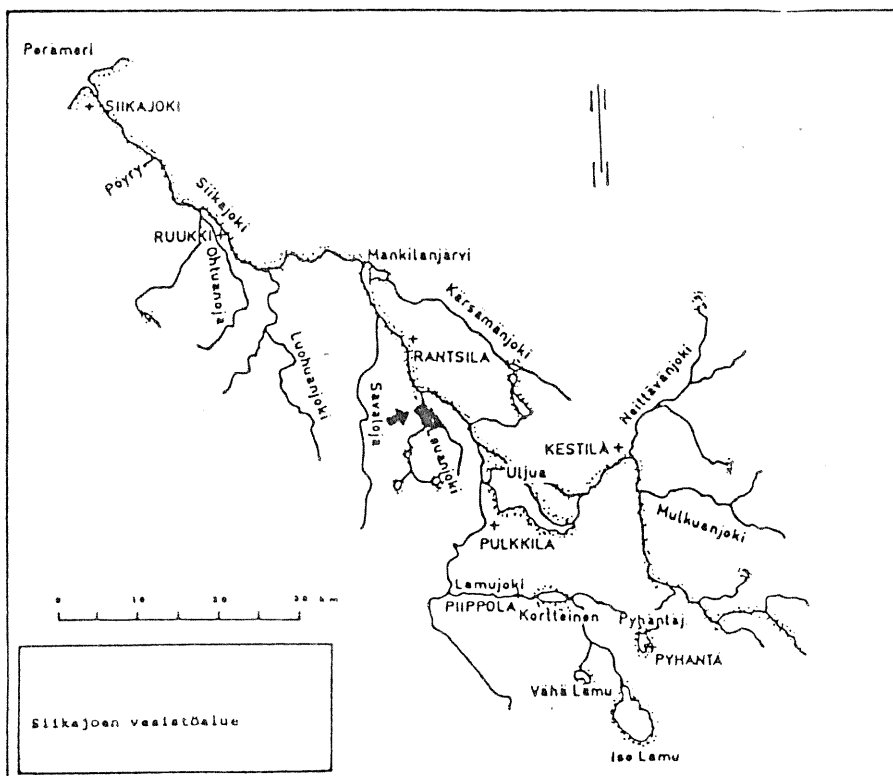
2. TUTKIMUKSEN RAJAUS JA TAVOITTEET

Tutkimuksen tärkeimmäksi tavoitteeksi on asetettu happitilanteen ennustaminen Leuvan altaasta talvella lähtevässä vedessä ilman tilannetta parantavia toimenpiteitä ja käytettävissä olevien toimenpiteiden jälkeen. Happitilanteen ohella ennustetaan myös veden muiden laatuparametrien, ainevirtaamien ja rehevyysasteen muuttumista talvella ja kesällä. Lisäksi esitetään arvio altaan kohdalla pohjapatojen avulla allastettavan vanhan uoman veden laadusta.

3. SIIKAJOEN VESISTÖ

3.1 Yleiskuvaus

Siikajoki alkaa Pyhännän kunnan alueella useiden pienten latvajokien yhtymäkohdasta ja virtaa Kestilän, Pulkkilan, Rantsilan ja Ruukin kuntien kautta kaakko-luode suunnassa laskien Siikajoen kunnan alueella Perämereen (kuva 1).



KUVA 1. SIIKAJOEN VESISTÖALUE.

Siikajoen valuma-alue (F) on $4\,260\text{ km}^2$ ja järvisyys (L) 2,3 %. Suurin sivu-uoma on Lamujoki (F = 959 km^2 , L = 4,2 %), joka alkaa Pyhännän kunnan eteläosassa olevasta Iso-Lamujärvestä ja laskee Siikajokeen Pulkkilan ja Rantsilan kuntien rajalla. Siikajoen koskijaksot ovat joen ala- ja yläjuoksulla. Joen kokonaisputous on 95 m.

3.2 Tekoaltaat ja säännöstely.

Siikajoen vesistöalueella on 1960-70 -lukujen vaihteessa rakennettu kolme tekoallasta: Uljua 28 km^2 , Kortteinen $6,5\text{ km}^2$ ja Vähä-Lamu $3,8\text{ km}^2$. Nämä muodostavat n. 40 % järvien ja tekoaltaiden kokonaisvesipinta-alasta. Tekoaltaat täytetään kevättulvan aikana ja ne tyhjennetään alarajaan ennen seuraavaa kevättulvaa.

Uljuan tekoaltaaseen juoksutetaan Siikajoesta vettä kaivettua kanavaa pitkin (kuva 1). Altaan tyhjennys tapahtuu Lamujokeen n. 7 km ennen sen yhtymistä Siikajokeen. Altaan tulokanavan ja Lamujoen yhtymäkohdan välille jää vanhaa jokiuomaa n. 20 km, jonne juoksutetaan vettä vähintään $0,3\text{ m}^3/\text{s}$. Allasta säännöstellään 8 m:n amplitudilla ja siitä on vedenjuoksutus hoidettava siten, että vuorokauden keskiarvona laskettu virtaama Sipolan asteikolla ei alita arvoa $1\text{ m}^3/\text{s}$.

Lamujokivarressa sijaitsevaa Kortteisen tekoallasta säännöstellään 2,25 m:n amplitudilla maksimijuoksutuksen ollessa ylävesirajan alapuolella $8\text{ m}^3/\text{s}$ ja minimijuoksutuksen $1\text{ m}^3/\text{s}$ ellei säännöstelyn alaraja tule vastaan.

Vähä-Lamulla on säännöstelykorkeus 0,75 m maksimijuoksutuksen ollessa $2\text{ m}^3/\text{s}$ ja säännöstelyn ylärajan alapuolella $1\text{ m}^3/\text{s}$.

Vesistöalueen suurinta järveä Iso-Lamua (kuva 1) säännöstellään 1,3 m:n amplitudilla. Järvestä tapahtuva maksimijuoksutus on ylävesirajan alapuolella $4\text{ m}^3/\text{s}$ ja minimijuoksutus $0,1\text{ m}^3/\text{s}$ alittamatta säännöstelyn alarajaa.

Edellä mainituin toimenpitein vesistöalueen säännöstelytilavuus on 185 milj. m^3 ja säännöstelyaste on 15,8 %.

3.3 Virtaamat

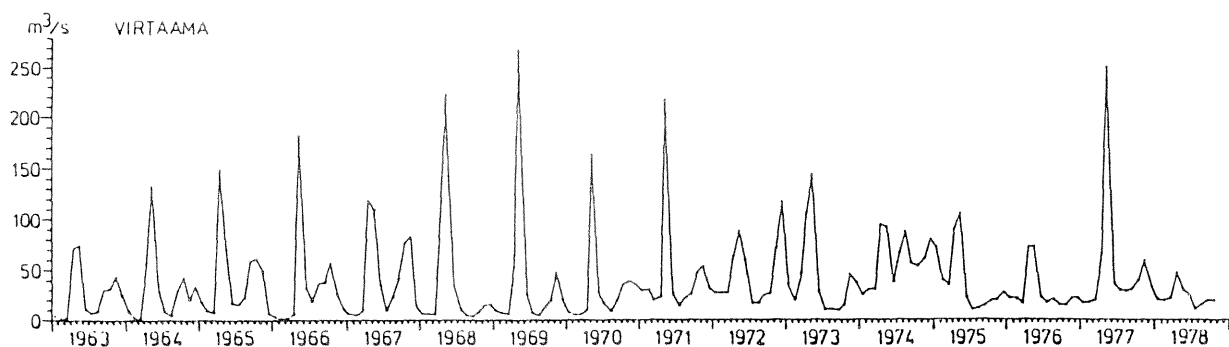
Virtaamien vaihtelua Siikajoen suulla on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 2.

TAULUKKO 1. KUUKAUDEN KESKIVIRTAAMAN SEKÄ ALIMMAN JA YLIMMÄN VIRTAAMAN SUURUUS LÄNKELÄSSÄ ENNEN ULJUAN ALLASTA (1960-70 ja 1960-70) JA ULJUAN ALTAAN RAKENTAMISEN JÄLKEEN (1970-78).

	MQ			NQ		HQ	
	36-60	60-70	70-78	60-70	70-78	60-70	70-78
I	11,3	6,7	30,2	0,9	15,8	26,0	105
II	4,8	4,5	25,1	0,3	15,1	12,6	50,0
III	4,3	4,5	26,1	0,5	12,6	11,7	128
IV	80	90,1	69,6	0,4	8,8	561,0	356
V	140	149	129	14,5	19,8	629,0	532
VI	29	27,7	31,2	5,5	8,9	101,0	136
VII	18,3	16,8	20,8	3,6	5,1	70,0	156
VIII	15,8	21,8	23,5	1,7	5,8	222,0	252
IX	19,6	32,0	23,5	2,2	9,9	182,0	90,0
X	29	36,6	29,5	3,8	9,9	219,0	84,0
XI	33	36,4	46,0	3,6	12,2	180,0	119
XII	28	15,1	47,8	3,4	18,3	75,0	219
I-XII	34	36,7	41,9	0,3	5,1	633	532

MQ nousut 3!

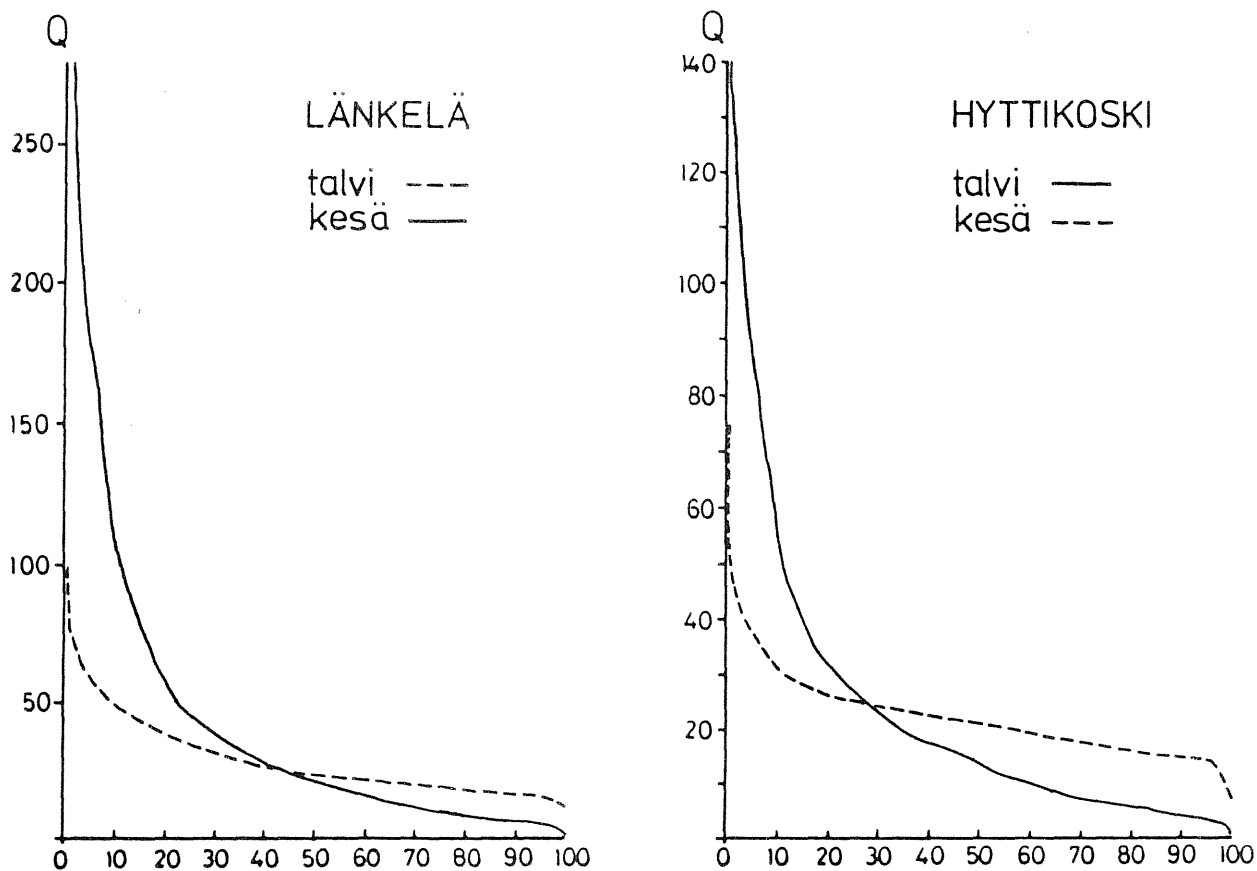
Uljuan altaan käyttöönotto



KUVA 2. VIRTAAMAN VAIHTELU KUUKAUSIKESKIARVONA SIIKAJOESSA LÄNKELÄN KOHDALLA V. 1963-78.

Uljuan allas on lisännyt erityisesti talvenaikaisia virtaamia Siikajoessa. Samalla ovat vuorokausitasolla lasketut alimmat ja ylimmät virtaamat selvästi tasoittuneet. Uljuan tekoaltaan säännöstely aiheuttaa myös vuorokauden sisäisiä virtaaman vaihteluita. Selvimpiä nämä tuntuvat heti altaan alapuolella, mutta jokisuulla vuorokausisäännöstelyn vaikutus virtaaman vaihteluun on vähäisempi. Oulun vesipiirin vesitoimiston tutkimuksissa on havaittu selvä tasoittuminen jokisuulle siirryttäessä.

Nykyinen virtaamien pysyvyys Siikajoessa on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. VIRTAAMIEN PYSYVYYS SIIKAJOESSA HYTTIKOSKEN JA LÄNKELÄN KOHDALLA, KUN JOESSA ON NYKYINEN SÄÄNNÖSTELY. TARKASTELUJAKSO ON 1936-69.

Kuvasta 3 voidaan havaita, että virtaaman pysyvyys on talvella selvästi suurempi kuin kesällä. Erityisesti tähän tilanteeseen on vaikuttanut Siikajoen säännöstely.

4. SIKAJOEN VEDEN LAATU

4.1 Yleistä

Siikajoen vesistön veden laatua on seurattu vesihallituksen valtakunnallisilla virta-havaintopaikoilla vuodesta 1963 alkaen. Tutkimuksia suoritettiin 1970-luvun alkupuolelle saakka neljä kertaa vuodessa, minkä jälkeen IHP-tutkimuksen ja Uljuan altaan seuranta-tutkimuksen yhteydessä tarkkailua on tehostettu.

4.2 Veden laadun kehittyminen

Veden laadun kehittymistä vuodesta 1963 alkaen on esitetty kuvissa 4 ja 5. Selvimmät muutokset ovat tapahtuneet Uljuan altaan vaikutuksesta: altaan rakentamisvaiheessa vesisamentui ja alapuoliselle jokiosuudelle on syntynyt jatkuvasti toistuva kevättalven happikato.

Vesistöalueen jätevesikuormituksessa on ollut tällä vuosikymmenellä lisääntyvä tendenssi. Jätevesikuormitus on joen ainevirtaamiin verrattuna kuitenkin niin vähäinen, ettei veden laadun selvää muuttumista jätevesikuormituksen vaikutuksesta ole havaittavissa silloin, kun jokivirtaama on normaalitasolla.

Metsänojituksen (pääosa 1960-luvulla) vaikutusta Siikajoen veden laatuun ei ole tutkittu. Joen yläosan perkaukset ja jokisuun ruoppaus suoritettiin 1960-luvun lopulla, jolloin myös Uljuan altaan rakentamisvaihe aiheutti joen alaosalla veden laadun muuttumista.

4.3 Nykyinen veden laatu

Siikajoen vesistöalueella voidaan yleispiirteinä luonnehtia valuma-alueen suoperäisyyden heijastuminen lähes koko vesistöalueen veden laadussa. Siikajoen veden laatuun vaikuttaa maaperästä ja pelloilta tapahtuva huuhtoutuminen, tekoaltailta juoksetettavan veden laatu, haja-asutus sekä taajamien ja teollisuuden aiheuttama jätevesikuormitus.

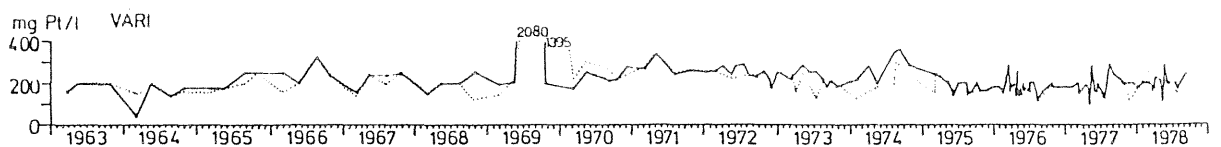
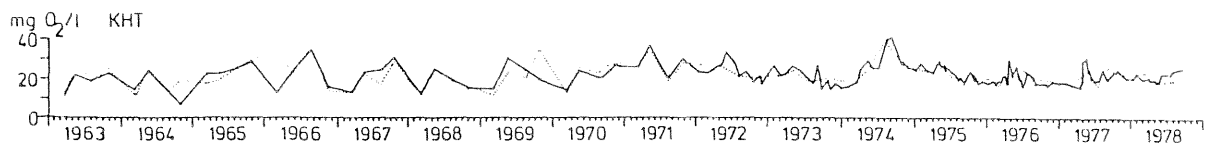
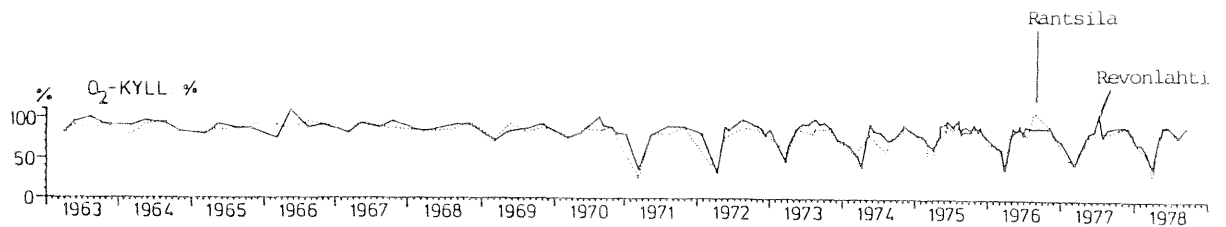
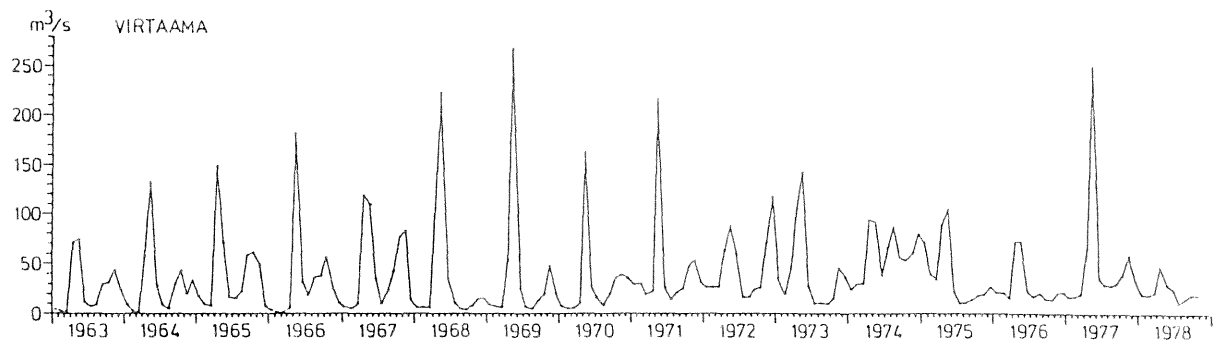
Siikajoen latvaosien vedet ovat luonteeltaan kirkkaita ja karuja (Iso-Lamu: väri 40 mg Pt/l, Kok.P 12-16 ug/l, kok.N 400 ug/l). Latvajärviltä veden humuspitoisuus ja ravinnetaso kohoa siten, että Siikajoen kirkonkylän kohdalla veden väri on n. 160 mg Pt/l, kokonaisfosforipitoisuus 60-140 ug/l ja kokonaistyyppipitoisuus 500-1000 ug N/l (SALMELA 1978). Siikajokeen laskevissa sivu-uomissa, Lamujokea ja Neittävänjokea lukuunottamatta ovat väriarvot pääuomaan verrattuna 1,5 - 2 -kertaiset.

Siikajoen veden laatua heikentää oleellisesti kevättalvella tapahtuva ja vuosittain toistuva Uljuan tekoaltaan aiheuttama happikato, jonka vaikutukset heijastuvat aina jokisuulle saakka.

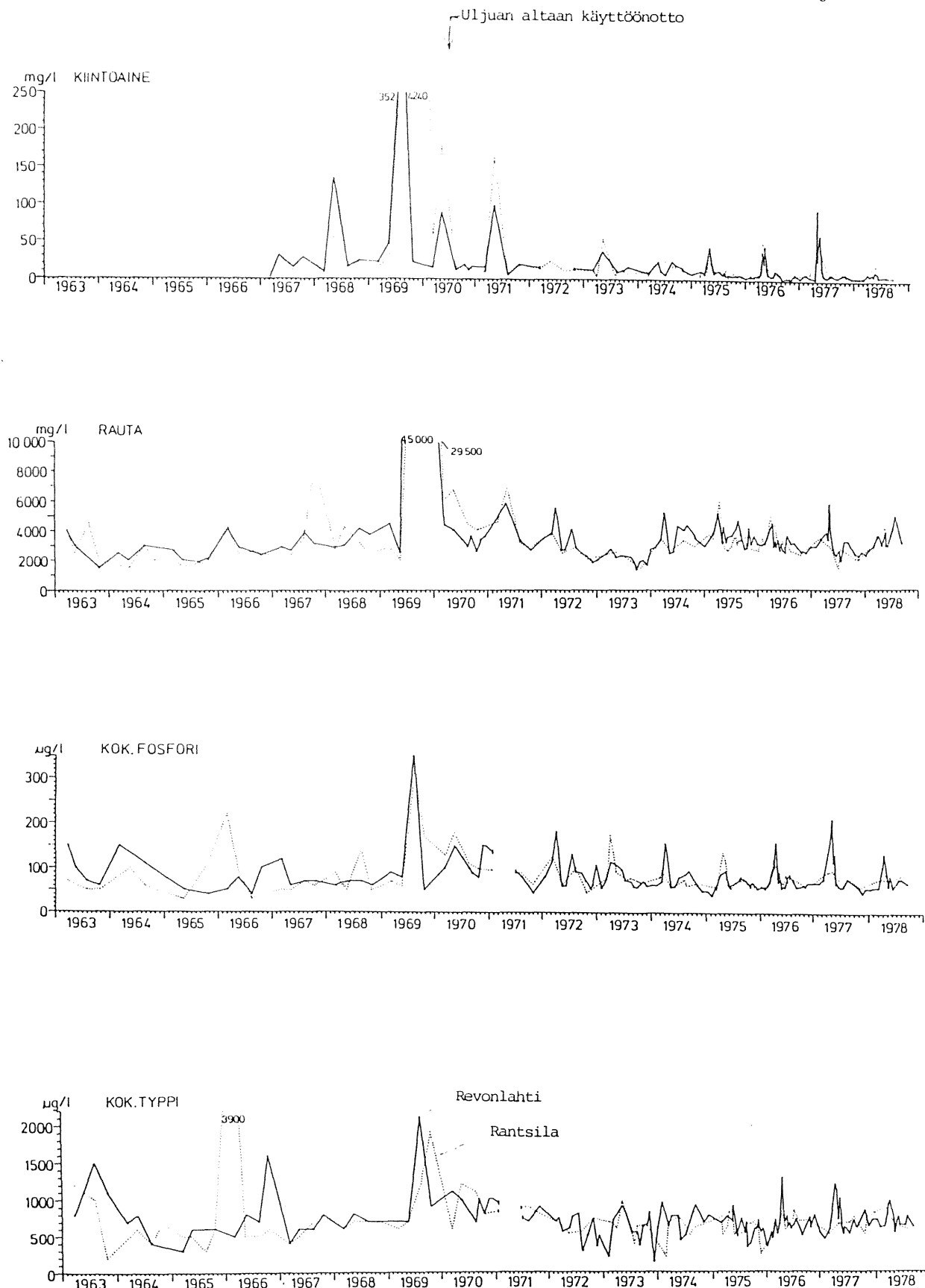
Happikatoa seuraa kevättulvan aikainen pH:n lasku. MYLLYMAAN (1978) mukaan ovat alhaisimmat todetut pH-arvot olleet 4,9. Yhdessä korkeiden rautapitoisuuksien (3,2 - 4,9 mg Fe/l) kanssa aiheuttavat alhaiset pH-arvot suoran toksisen vaikutuksen ja vaikeuttavat kalojen kaasujen vaihtoa (SALMELA 1979).

Pohjanmaan pohjoisosan vesienkäytön kokonaissuunnitelman (VESIHALLITUS 1977) mukaan Siikajoen pääuomassa vesi on lähinnä tyydyttävä. Siikajokeen laskevat sivujoet ovat yleensä veden laadultaan huonompia kuin pääuoma. Erityisesti huuhtoumaa ilmentävät laatumuuttujat (väri, Fe) huonontavat veden laatua sivu-uomissa niin paljon, että useimmat voidaan luokitella laadultaan välttäviksi.

↓ Oljulan altaan käyttöönotto



KUVA 4. VIRTAAMAN JA VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN SIIKAJOEN SUULLA (REVONLAHTI) JA RANTSILAN KOHDALLA V. 1963-1978 (Oulun vesipiirin vesitoimisto).



KUVA 5. VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN SIKAJOEN SUULLA (REVONLAHTI JA RANTSILAN KOHDALLA)
V. 1963-1978 (Oulun vesipiirin vesitoimisto).

5. SIIKAJOEN VESISTÖN KAYTTO

5.1 Veden hankinta

Yhdyskuntien veden hankinta on pohjaveden varassa. Teollisuuslaitoksista Ruukin Mineraalivilla käyttää jäähdytysvetenä Siikajoen vettä.

5.2 Jätevesien lasku

Asukastiheys Siikajoen vesistöalueella on varsin alhainen ja taajama-asutuksen osuus tulee jäämään alhaisemmaksi kuin muilla Pohjanmaan pohjoisosan vesistöalueilla (VESIHALLITUS 1977). Siikajoen vesistöalueella on 9 taajamakuormittajaa ja 4 teollisuuslaitosta. Teollisuuskuormitus on selvästi vähäisempi kuin taajamakuormitus. Kuormitus on jakautunut verrattain tasaisesti koko vesistöalueelle. Keskistetyn jätevesikuormituksen suuruus on varsin alhainen joen ainevirtaamiin nähden. Siikajoen pääuomaan suoraan johdettavan kuormituksen (N, P, BHT) suuruus on alivirtaamakausina alle 5 % jätevesien laskukohdalla joessa vallitsevasta ainevirtaamasta. Alimpien virtaamien aikana keskitetyn kuormituksen osuus ainevirtaamasta voi olla suurempi.

5.3 Voimatalous

Vesistöalueelle on rakennettu Uljuan, Ruukin ja Pöyryn voimalaitokset. Näiden omistaja on Revon Sähkö Oy. Teholtaan Uljua (3,70 MW) on selvästi suurempi kuin muut (Ruukki 0,14 MW, Pöyry 0,54 MW).

5.4 Kalatalous

Vesistöalueen kalataloudesta on laatinut selvityksen SALMELA (1979). Vesistöalueella on kalastanut v. 1977-78 n. 1800 ruokakuntaa. Näistä pääammattikalastajia on ollut 0,3 %, sivuammattikalastajia 4,5 % ja kotitarve- sekä virkistyskalastajia 95,2 %. Iso-Lamujärvessä pyynnin pääkohteena on muikku ja tekoaltaissa made. Siikajoen pääuomassa Pöyrykosken yläpuolella kalastus on vähäistä. Tämän alapuolisella jokiosuudella muodostaa nahkiainen loppukesällä ja syksyllä tärkeän pyyntikohteen. Merialueella on kevätpyyntin kohteena silakka ja lohi ja syksyllä pyydetään siikaa ja taimenta.

5.5 Virkistyskäyttö

Virkistyskäyttöön soveltuvat rannat painottuvat vesistöalueen latvaosaan ja meren rannikolle. Siikajoen pääuoman varrella, etenkin alajuoksulla, on kuitenkin verrattain paljon loma-asuntoja. Pääuomassa on vain yksi yleinen uimaranta, joka sijaitsee joen suulla.

6. LEUVAN ALLAS

6.1 Yleiskuvaus

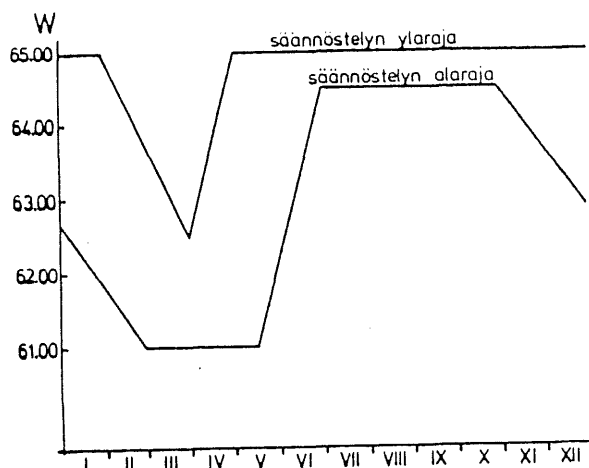
Valuma-alue Leuvan altaalla (kuva 7) on $2\,668\text{ km}^2$, josta nykyisin on säännösteltyä $1\,815\text{ km}^2$ (Uljua $1\,453\text{ km}^2$ + Kortteinen 362 km^2).

Leuvan altaan säännöstelyn yläraja on +65,00 ja alaraja +61,00, jolloin varastotilavuus on 0,5 m:n jääpeite huomioituna 28 milj.m^3 . Altaan pinta-ala on ylärajalla 15 km^2 , joten keskisyvyys jää varsin alhaiseksi (2,4 m).

Täyttökanava Leuvan altaaseen on suunniteltu alkavaksi Lamujoesta noin 1,5 km Lamu- ja Siikajoen yhtymäkohdan yläpuolelta. Kanavan pituus on lähes 6 km. Tässä vaiheessa on suunniteltu kanavaa, jonka mitoitus kesäolosuhteissa on $61,4\text{ m}^3/\text{s}$ ja talvella $40\text{ m}^3/\text{s}$. Talviajan tulovirtaamat ovat normaaliolosuhteissa seuraavat: Uljua $33\text{ m}^3/\text{s}$ + Kortteinen $3\text{ m}^3/\text{s}$ + luonnontil. $4\text{ m}^3/\text{s} = 40\text{ m}^3/\text{s}$.

6.2 Säätöaluet

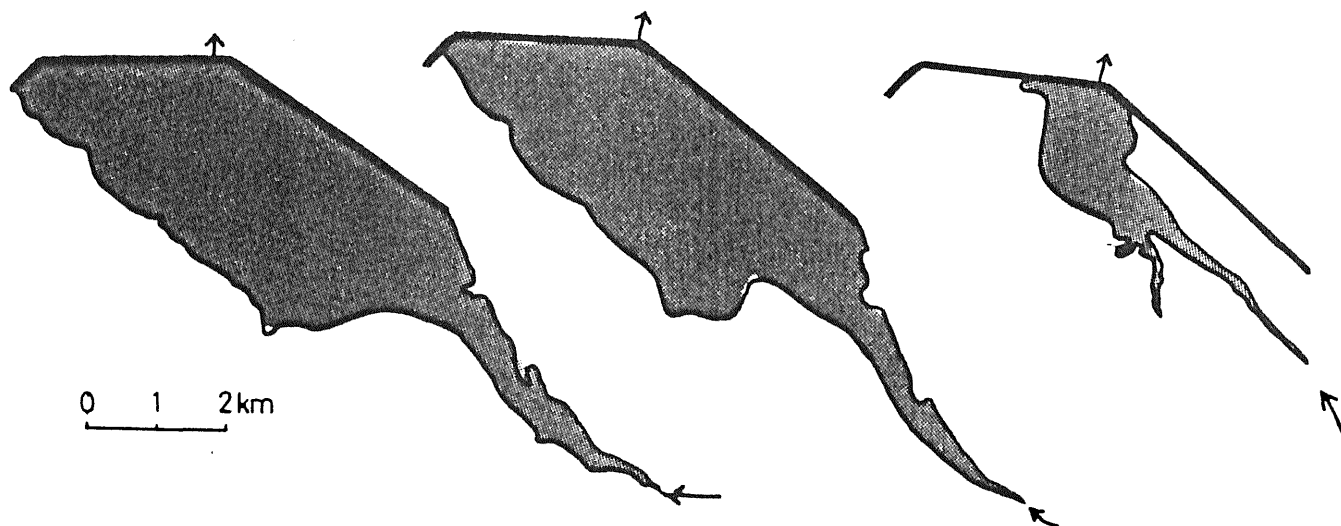
Leuvan altaan säätöaluet on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. LEUVAN ALTAAN SÄÄTÖALUET.

Kesäveden pinta pyritään pitämään lähes ylärajalla. Altaan veden pintaa aletaan laskea myöhään syksyllä ja se on minimissä keväällä, jonka jälkeen allas täytetään tulvavedellä. Altaan keskiuokutus on marras-huhtikuussa 20 - 25 m³/s ja kesä-lokakuussa 12 - 18 m³/s.

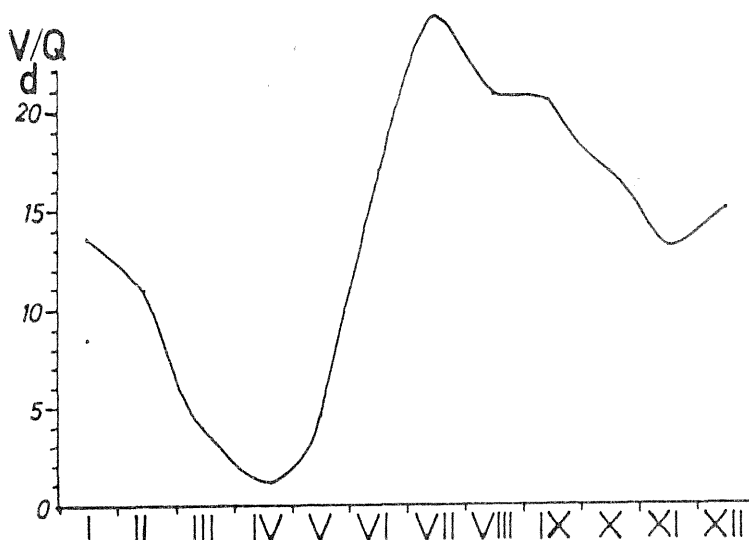
Altaan säätöaluetllä lisätään Siikajoen virtaamaa joulu-maaliskuussa keskimäärin 2,7 m³/s. Altaan säätöaluettilavuus on 26 milj.m³. Altaan muoto eri korkeustasoilla on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. LEUVAN ALLAS KORKEUSTASOILLA 65.00, 64.50 ja 61.00.

6.3 Viipymätarkastelu

Altaan viipymä on tärkeä veden laatu-uutoksia selittävä tekijä. Altaan keskimääräinen viipymä on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. LEUVAN ALTAAN TEOREETTINEN VIIPYMÄ VUOSIEN 1971 - 1978 HYDROLOGISTEN TIETOJEN PERUSTEELLA.

Leuvan altaan teoreettinen viipymä on kesällä 15 - 25 d ja se on pienimmillään kevä-talvella (1 - 10 d). Leuvan altaassa ei ole selväpiirteisiä eristettyjä lahdekkeita tai syvänteitä. Altaan pohja viettää täyttökanavan suulta kohden kohtaa, josta vettä juoksu-tetaan. Kun lisäksi altaan juoksutus tapahtuu syvältä, voidaan olettaa, että altaan vesien vaihtumisaika ei ole paljon suurempi kuin teoreettinen viipymä.

6.4 Pohjan laatu

Altaan alle jäävästä maa-alasta on kangasmaita 258 ha, ojitettua korpea 81 ha, ojitettua rämettä 889 ha, ojittamatonta rämettä 60 ha ja joutomaata (pakettipelto ym.) 22 ha. Loput (44 ha) on vesialueita.

Turvetutkimuksen mukaan allasalueella on 148 ha (10 %) aluetta, jossa turpeen paksuus on yli 1 m.

6.5 Altaaseen tulevan veden laatu

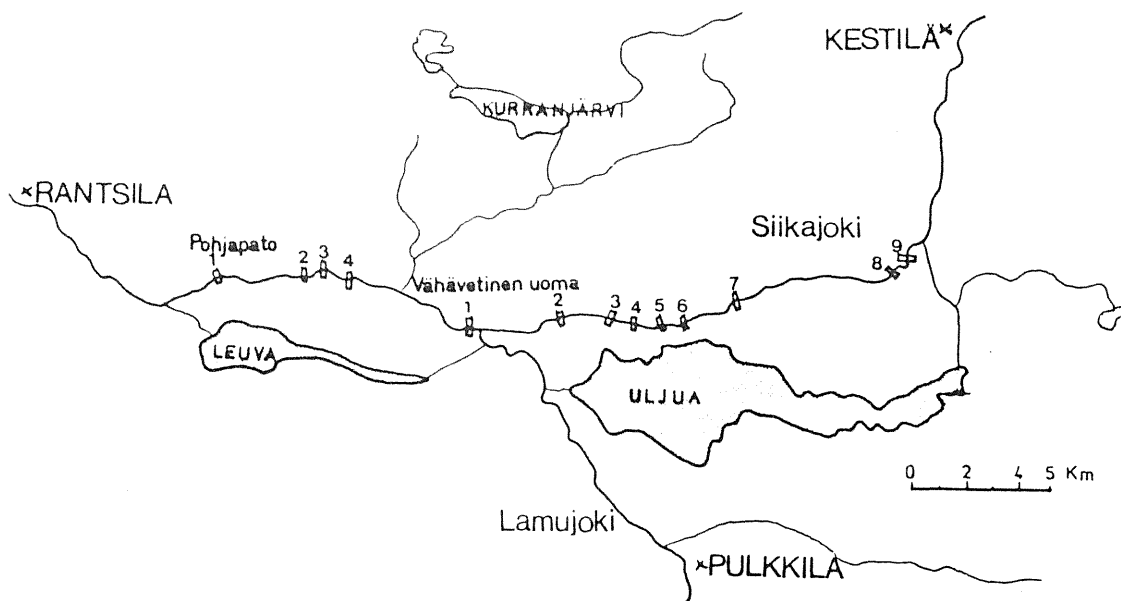
Leuvan altaaseen tuleva vesi on sekoitus Lamujoesta ja Uljuasta sekä suoraan valuma-alueelta tulevasta vedestä. Talvella Leuvan tulovirtaamasta on 60 - 70 % Uljuasta tullutta ja kesällä noin puolet.

Leuvaan tulevan veden laatua kuvaa nykytilanteessa Rantsilan kohdalla tehdyt havainnot (taulukko 5). Vesi sisältää runsaasti humusainetta ja sen rautapitoisuus on korkea. Typen ja fosforin pitoisuus on suuri; vesi sisältää runsaasti myös epäorgaanisesti sidot-tuja ravinteita. Mineraalitypen ja fosfaatin suhde on kesällä 5 - 6:1, joka on vähän alle kasviplanktonin optimiarvon.

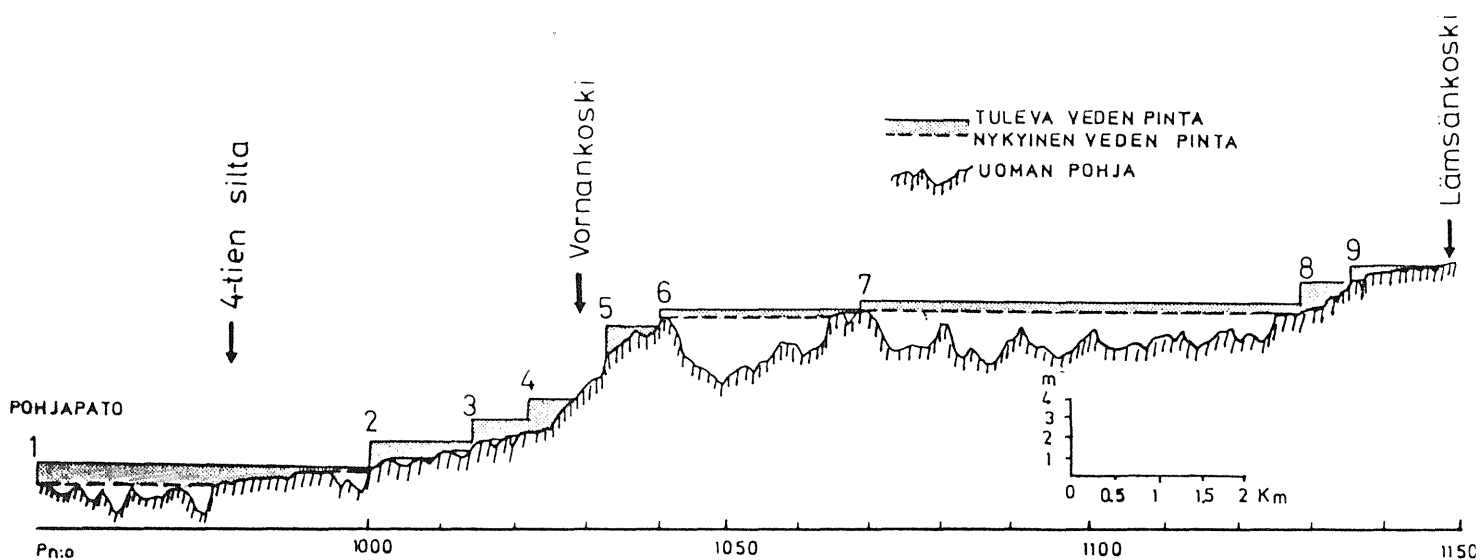
Kesäaikana vesi sisältää happea runsaasti, mutta talvella Uljuan aiheuttama happivajaus Leuvaan tulevassa vedessä on melkoinen. Kuitenkin Lamujoesta tulevat vedet ja ilmastumi-nen ovat parantaneet tilannetta siten, että Leuvaan tuleva vesi sisältää maaliskuussakin happea 2 - 5 mg/l.

6.6 Vähävetisen uoman yleiskuvaus

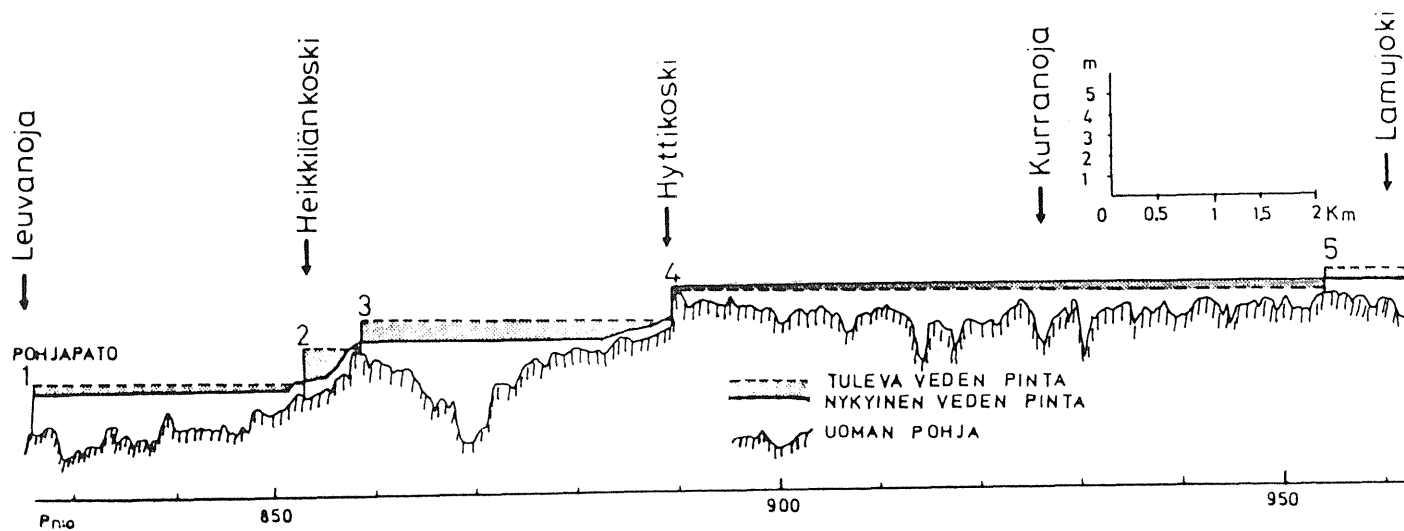
Uljuan tekoaltaan kohdalla olevan Siikajoen vähävetisen uoman pituus on 18,8 km ja pu-touskorkeus 16,8 m. Nykytilanteessa uoma ei ole porrastettu. Uomaan on suunniteltu raken-nettavaksi yhdeksän pohjapatoa (kuvat 9 ja 10).



KUVA 9. TUTKIMUSALUE



KUVA 10. SIIKAJOEN VÄHAVETINEN UOMA ULJUAN ALTAAN KOHDALLA



KUVA 11. SIIKAJOEN VÄHAVETINEN UOMA SUUNNITTEILLA OLEVAN LEUVAN ALTAAN KOHDALLA

Leuvan tekoaltaan kohdalle jäävän Siikajoen uoman pituus on 14,5 km ja putouskorkeus 8.8 m. Suunnitelman mukaan uomaan rakennetaan viisi pohjapatoa ja lisäksi Lamujokeen yksi (kuva 11). Pohjapatojen välisten jokialtaiden tilavuudet, pinta-alat ja viipymät on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. POHJAPATOJEN VÄLISTEN JOKIALTAIDEN TILAVUUS, PINTA-ALA JA TEOREETTINEN VIIPYMÄ (ALIVIRTAAMAN AIKANA) ULJUAN JA LEUVAN TEKOALTAISIIN LIITTYVISSÄ SIIKAJOEN VÄHAVETISISSÄ UOMISSA.

Paaluväli (pohjapatoväli)	Tilavuus (m ³)		Pinta-ala (ha) tuleva	Viipymä (d)			
	nykyinen	tuleva		nykyinen talvi	nykyinen kesä	tuleva talvi	tuleva kesä
Lamujokisuu - Lämsänkосki							
954-1000 (1-2)	148 800	292 912	18,64	4,9	4,3	9,7	8,5
1000-1014 (2-3)	5 560	52 618	4,77	0,2	0,2	1,7	1,6
1014-1021+61 (3-4)	5 000	34 979	3,52	0,2	0,2	1,2	1,1
1021+60-1032+50 (4-5)	0	27 920	2,11	0	0	1,0	0,9
1032+50-1040 (5-6)	1 750	40 610	3,44	0,1	0,1	1,4	1,3
1040-1067+75 (6-7)	166 350	323 269	16,19	5,8	5,5	11,3	10,7
1067+75-1128+50 (7-8)	486 660	844 946	35,35	17,6	17,1	30,6	29,6
1128+50-1135+25 (8-9)	100	45 065	3,20	0	0	1,7	1,7
1135+25-1149 (9-)	0	26 471	4,02	0	0	1,0	1,0
Yhteensä	814 000	1 688 790	91,24	29	27	60	56
Leuvanoja - Lamujoen säännöstelypato							
Siikajoki:							
826-853 (1-2)		642 490	25,10			9,9	9,8
853-858+40 (2-3)		44 420	3,55			0,7	0,7
858-889+50 (3-4)		822 660	29,53			13,4	13,0
889+50-954 (4-5)		668 660	41,23			11,1	10,7
954-961 (5-)		74 430	3,52			1,6	1,3
Lamujoki:							
0-17+50		49 170	4,51			1,1	0,9
Yhteensä		2 301 830	107,44	2 - 3		38	36
Leuvanoja - Lämsänkосki		3 990 620	198,68			98	92

Vesioikeuden päätöksen mukaan Uljuan altaan vähävetiseen uomaan johdetaan 0,3 m³/s virtaama. Uoman oma valuma-alue on 94,6 km², joka lisää alivirtaaman (NQ 30 d, TR 3 vuotta) aikana virtaamaa kesällä 0,1 m³/s ja talvella 0,05. Leuvan altaan kohdalle jäävään vähävetiseen uomaan on suunniteltu johdettavaksi Leuvan säännöstelypadolta talvella 0,1 m³/s ja kesällä 0,2 m³/s. Uoman oma valuma-alue on 279 km², joka lisää alivirtaaman aikana virtaamaa kesällä 0,3 m³/s ja talvella 0,16. Vähävetisen uoman alaosassa virtaama olisi kesällä 0,9 m³/s ja talvella 0,6 m³/s.

Vähävetisen uoman pitoisuushavaintojen perusteella todettu ravinnekuormitus on erityisesti typen kohdalla selvästi alhaisempi kuin kuormittavista tekijöistä teoreettisesti laskettu kuormitus (taulukko 3).

TAULUKKO 3. SIIRAKAJOEN VÄHÄVETISEEN UOMAAN ULJUAN ALTAAN JA SUUNNITTEILLA OLEVAN LEUVAN ALTAAN KOHDALLE TULEVA KUORMITUS. POTENTIAALINEN KUORMITUS ON OULUN VESIPIIRIN TUTKIMUSTEN MUKAINEN. KAUPIN (1979a, 1979b) MUKAAN ESITETTY KOKONAISKUORMITUS ON MÄÄRÄTTY OSAKSI POTENTIAALISEN KUORMITUKSEN PERUSTEELLA. TODETTU KESÄKUORMITUS ON MÄÄRÄTTY PITOISUUSMUUTOSTEN PERUSTEELLA.

	ULJUA		LEUVA	
	Kok.P	Kok.N	Kok.P	Kok.N
<u>Potentiaallinen kuormitus, kg/kk</u>				
- asutus	333	1 666	307	1 547
- karja	3 400	30 074	5 028	41 381
- peltolannotus	21 400	52 000	23 300	77 660
- säilörehun puristemehu	191	827	270	1 170
Yhteensä	25 321	84 567	28 905	121 748
<u>Kuormitus + Huuhtouma</u>				
RANTAPERÄN (1974) mukaan kg/a	1 400	23 680	1 700	45 900
KAUPIN (1979a, 1979b) mukaan				
- asutus, kg/a	57	143	53	132
- huuhtouma pelloilta kg/a	618	13 020	317	14 112
- muut tekijät kg/a	105	7 737	80	7 656
Yhteensä	780	20 900	450	21 900
- kesäkuormitus kg/d	1,11	31	0,64	32
<u>TODETTU KESÄKUORMITUS, kg/d</u>	0,3(max0,7-1)	0,7 (max 7-9)		

Oulun vesipiirin toimesta suoritettiin elokuussa 1980 veden laatututkimus Siikajoen vähävetiseen uomaan laskevista ojista. Pitoisuushavainnosta karkeasti laskemalla saadaan tulokseksi että tutkimushetkellä uomaan tulevan fosforin määrä oli 0,3 - 0,5 kg/d, typen määrä 2 - 3 kg/d ja BHT₇-arvo 3 - 7 kg/d.

Uoman tilan kannalta on tärkeä arvioida uomaan kohdistuva BHT-kuormitus erityisesti talviaikana. Vähävetisen uoman yläpuolella ja uoman alaosassa on vuoden 1975 jälkeen mitattu BHT₇-arvo talvella 30 kertaa.

Talvitilanteessa BHT-arvo on vähävetisen uoman loppupäässä ollut keskimäärin 0,3 mg/l korkeampi kuin uoman yläpuolella. Kyseinen nousu vastaa n. 10 kg/d tasoa olevaa BHT₇-kuormitusta. Suurimmat havaitut erot ovat olleet tasoa 1,5 - 1,9 mg/l, joka vastaa 50 - 70 kg/d BHT₇-kuormitusta. BHT₇-kuormituksen määrittämiseen kyseisellä menetelmällä sisältyy virhelähteitä, joista suurin on se, että orgaanisen aineen hajotessa veden BHT-arvo pienenee. Kun huomioidaan veden kylmyys talvella ja uoman happitilanteen vähäisen muuttuminen voitaneen tässä tapauksessa BHT-kuormitusta arvioida pitoisuusmuutoksen perusteella.

7. ALLASENNUSTEMALLIN MUODOSTAMINEN

7.1 Happimallin perusrakenne

Talven happitilanne Leuvan altaassa ennustetaan PERTTUSEN (1979) happitasemallin avulla. Mallin periaate ilmenee seuraavasta varastoyhtälöstä.

$$VdC + CdV = dt \quad C_I(1-D)Q_I - C(Q_O - DQ_I) - F \cdot C_I - A \cdot k(C)$$

missä V = altaan vesitilavuus m^3
 A = altaan pinta-ala m^2
 Q_I = tulovirtaama m^3/s
 Q_O = menovirtaama m^3/s
 C = lähtevän veden happipitoisuus $mgO_2/l \equiv gO_2/m^3$
 C_I = tulevan veden happipitoisuus
 D = dispersiokerroin
 (0 = täydellinen sekoittuminen)
 (1 = täydellinen sekoittumattomuus)
 $k(C)$ = altaan hapenkulutuskerroin
 F = jäätymisnopeus

Happitasemalli on kehitelty ja kalibroitu Uljuan altaalle. Eräs tärkeimmistä suureista, sedimentin hapenkulutusnopeus on määrätty Uljuan altaassa suoritettun tutkimuksen perusteella.

Alkuperäisessä mallissa Uljuan allas jaettiin useaan peräkkäiseen vyöhykkeeseen ja tilannetta tarkastellaan viiden vuorokauden jaksoissa jääpeitteen aikana. Malli laskee kunkin vyöhykkeen happimäärät ja niiden muutokset antaen lähtevän veden happipitoisuuden lisäksi tarvittaessa kuvan tilanteen muuttumisesta altaan eri osissa.

Altaan jakaminen peräkkäisiin vyöhykkeisiin on perusteltua pitkänomaisessa Uljuan altaassa. Leuvan allas on pyöreähkö ja tämän vuoksi vyöhykejako ei ole välttämätön. Leuvan happitaselaskelmia varten mallia yksinkertaistettiin siten, että allasta käsitellään yhtenä kokonaisuutena.

Sekoittumisaste on termi, joka ilmaisee, kuinka suuri osa vyöhykkeestä lähtevästä happimäärästä siirtyy yli seuraavan vyöhykkeen vaikuttamatta tämän hapenkulutukseen ja happivarastoon. Kun allasta käsitellään ilman vyöhykejakoa, sekoittumisaste ilmoittaa edellä esitettyä tapahtumaa koko altaassa. Leuvan altaan happitaselaskelmissa otetaan sekoittumisasteeksi 100 %.

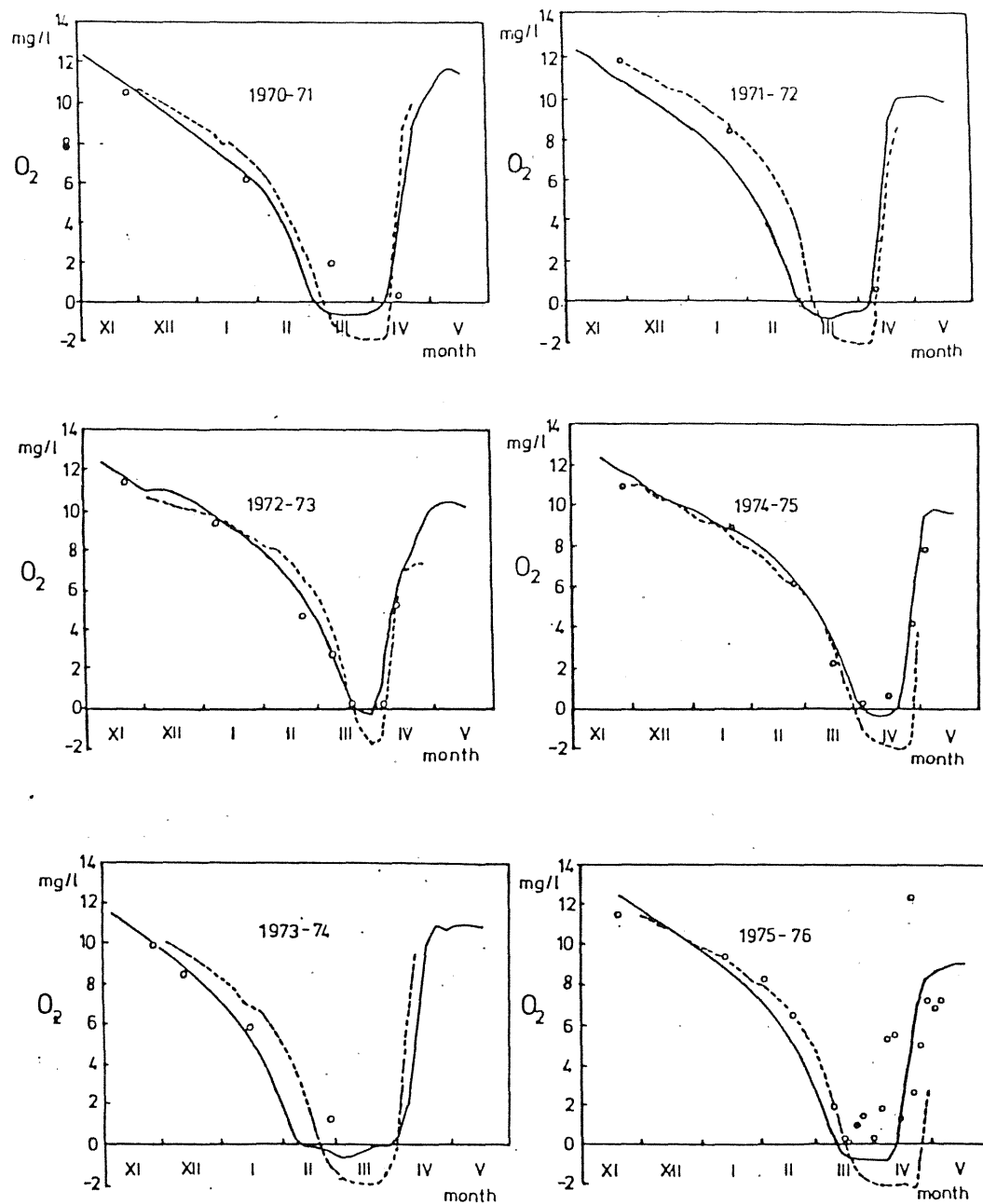
Erään vaikeuden happilaskelmissa muodostaa altaan happimäärä jäätymishetkellä. Uljuan altaassa myöhäissyksyn happitilanne on vuodesta toiseen toistunut verrattain samankaltaisena. Altaan keskimääräinen happipitoisuus marraskuun sekoittuvassa, kylmässä vedessä on ollut 12,4 mg/l. Leuvan altaan happilaskelmissa käytetään jäätymishetken keskimääräisenä happipitoisuusarvona mainittua lukemaa.

7.2 Happimallin soveltuvuus Uljuan altaaseen

Perttunen on esittänyt alkuperäisen mallin (Uljua jaettu useaan osa-alueeseen) antamia tuloksia julkaisuissa NIEMI et al. (1977) ja PERTTUNEN & ALASAARELA (1981). Vuodet 1970-76 on laskettu uudelleen käyttämällä yksinkertaistettua mallia, jossa allasta käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Mallin antamat tulokset ja laboratoriomäärityksillä todetut havainnot on esitetty kuvassa 12.

Verrattuna täydellisen mallin tuloksiin yksinkertaistettu malli näyttää ennen happikatoa liian heikkoja arvoja ja tilanteen paraneminen virtaamien suurenessa näkyy vähän aikaisemmin. Kun huomioidaan Uljuan pitkänomainen muoto, on tämä luonnollinen seuraus.

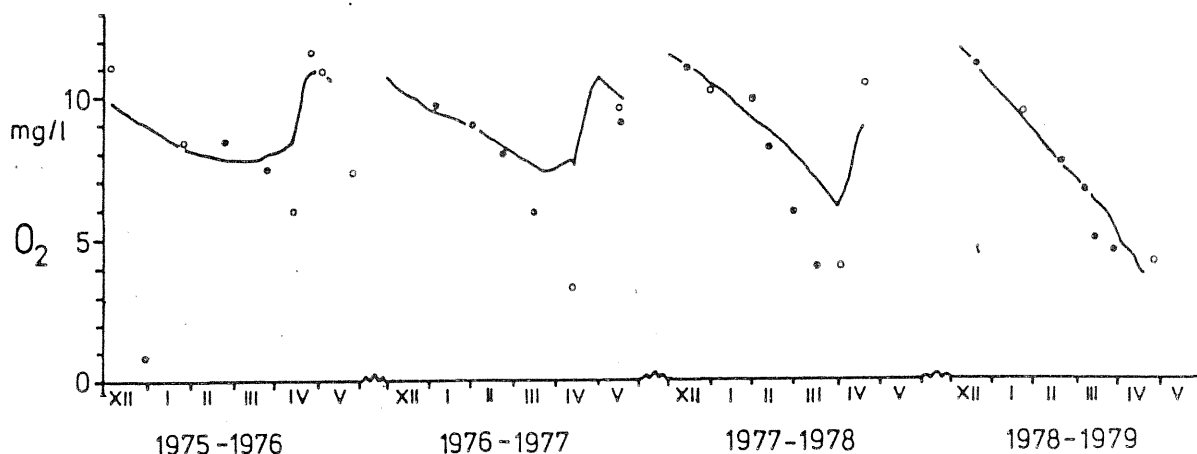
Todettujen happipitoisuuksien ja mallin antamien pitoisuuksien välinen keskivirhe on Uljuan altaassa v. 1970-79 1,5 mgO₂/l. Keskivirhettä suurentaa oleellisesti kevättulvan alkuvaihe. Happitilanteen nopeasti parantuessa tulvavesien johdosta voi mallin antama tulos ja todettu happipitoisuus poiketa 3 - 4 mgO₂/l, mutta ero aika-akselilla voi olla vain muutama päivä. Tähän vaikuttaa se, että malli laskee happitilanteen 5 d:n jaksoissa, jolloin jakson sisällä todellinen happitilanne voi kevättilanteessa muuttua 10 mgO₂/l.



KUVA 12. HAPPIILANTEEN KEHITTYMINEN ULJUAN ALTAASSA V. 1970 - 1976. TODETUT ALTAASTA LAITTEVÄN VEDEN HAPPIPITOISUUDET JA HAPPIASEMALLIN ANTAMAT TULOKSET ALKUPERÄISELLÄ MALLILLA (KATKOVIIVA) JA MODIFIOIDULLA MALLILLA (VIIVA).

7.3 Happimallin soveltuvuus Hautaperän altaaseen

Happitasemallia verifioitiin (verifiointi = jollekin systeemille kehitetyn mallin testaaminen ko. systeemistä riippumattomalla aineistolla) Kalajoen latvalla sijaitsevasta Hautaperän tekojärvestä kerääntyneellä aineistolla. Tulokset ovat kuvassa 13. Verifiointissa käytettiin yksinkertaistettua mallia. Sekoittumisasteena käytettiin arvoa 100 %. Sekoittumisaste ei välillä 70 - 100 % kovin paljon vaikuta mallin antamiin tuloksiin (ks. PERTTUNEN & ALASAARELA 1981).



KUVA 13. HAPPIKILANTEEN KEHITTYMINEN HAUTAPERÄN TEKOJÄRVESSÄ V. 1975 - 1979. TODETUT LÄHTEVÄN VEDEN HAPPIPITOISUUDET JA HAPPIKILANTEEN ANTAMAT TULOKSET. AVOIMPYRÄLLÄ MERKITYT HAVAINNOT ON TEHTY SILLOIN, KUN ALTAASTA EI OLE JUOKSUTETTU VETÄÄ (EPÄTODELLISIA?).

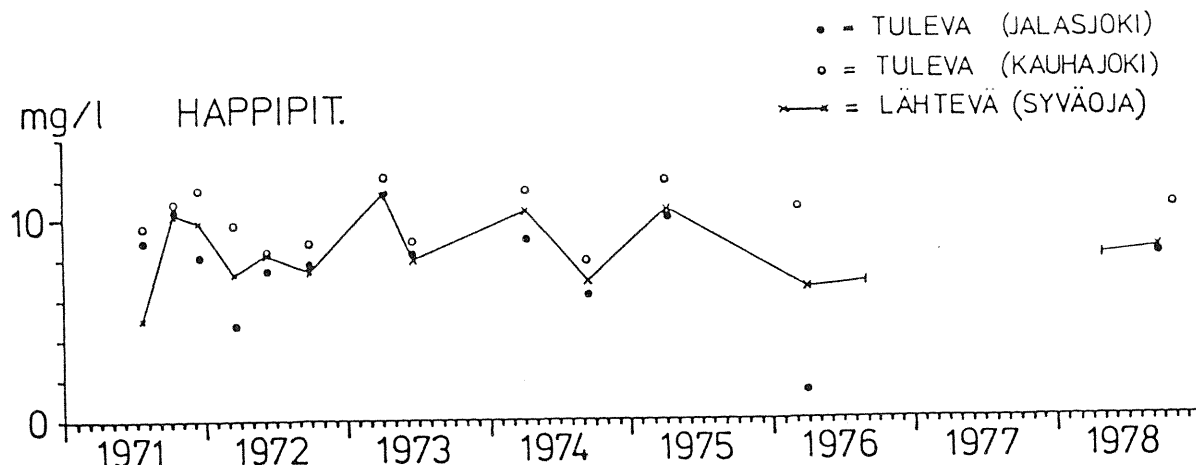
Hautaperän kohdalla mallin käyttökelpoisuuden arviointia vaikeuttaa havaintojen vähyys. Altaaseen tulee vettä useita uomia pitkin, joiden tarkkoja vesitaseita ei mitata. Jäätymistilanteen happimäärä on osaksi jouduttu arvioimaan ensimmäisen talvitutkimuksen perusteella (pintaveden happitilanne).

Hautaperän altaan keskisyvyys on suurempi ja viipymä lyhyempi kuin Uljuan altaassa. Tämä heijastuu selvästi myös happitaloudessa ja happitasemalli näyttää lupaavasti tulostavan eron samansuuntaisesti kuin lähtevästä vedestä tehdyt happitutkimukset. Kertoimia muuttamatta mallin antamien ja todettujen happipitoisuuksien välinen keskivirhe on vain 0,7 mgO₂/l. Tulosta voidaan pitää varsin lupaavana, kun huomioidaan Uljuan ja Hautaperän altaiden rakenteellinen erilaisuus.

7.4 Happimallin soveltuvuus Leuvan altaaseen

PERTTUSEN (1979) happimallin verifiointin lopputuloksena voidaan pitää perusteltuna, että mallia voidaan soveltaa Leuvan altaaseen. Tätä puoltaa sekin seikka, että malli on kehitetty välittömästi Leuvan altaan yläpuolella sijaitsevalle Uljuan altaalle. Näiden altaiden välillä on selvin rakenteellinen ero se, että altaan viipymä Leuvassa on talvella vain pieni osa siitä, mitä se on Uljuassa.

Hyvänvertailukohteen Leuvalle antaa Kyrönjoen vesistöissä sijaitseva Pitkämön allas, jossa talvenaikainen viipymä on samaa suuruusluokkaa kuin Leuvassa. Happitilanne Pitkämöön tulevassa ja lähtevässä vedessä on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. PITKÄMÖN ALTAASEEN TULEVAN JA ALTAASTA LÄHTEVÄN VEDEN HAPPIPITOISUUS V. 1971 - 1978.

Pitkämön altaaseen laskevien Jalasjoen ja Kauhajoen valuma-alueet ovat likimain yhtä suuret, joten lähtevän veden pitoisuusarvot sijoittuvat näistä joista tehtyjen havaintojen puoliväliin, mikäli tilanne ei muutu altaassa. Kuvasta 14 voidaan nähdä, että ensimmäistä vuotta lukuunottamatta Pitkämön allas on alentanut veden happipitoisuutta vain hyvin vähän. Havainnot sopivat varsin hyvin PERTTUSEN (1979) happimallin antamaan tulokseen, jonka mukaan happitilanne huononee altaassa alle $1 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Pitkämöön verrattuna Leuvan altaan negatiivinen piirre on mataluus. Pitkämön havainnot kuitenkin antavat tukea sille, että happimallia voidaan soveltaa myös nopean vedenvaihdon omauviin altaisiin.

7.5 Ainepitoisuuksien ja ainetaseiden ennustaminen

Veden muiden laatuominaisuuksien kuin hapen osalta ei ole tekoaltaillemme sovellettu vesistömalleja. Esitetyt arviot ovat perustuneet jo rakennetuista altaista saatuihin mittaus-tuloksiin. MESKUS & SALMELA (1976) ovat havainneet talvella useiden pitoisuusarvojen tekojärvissä olevan yhteydessä happitilanteeseen ja he käyttivät pitoisuuksien ennustamisessa muista tekoaltaista laskettuja regressiosuoria. Käytettyjen menetelmien kirjavuus viittaa siihen, että sopivaa mallia altaassa tapahtuville ainepitoisuuksien muuttumiseen ei ole löydetty. Tämä ei kuitenkaan osoita, ettei sellaista voitaisi löytää; asiaa ei ole vielä riittävästi tutkittu. Altaissa tapahtuvat perusilmiöt, kemialliset ja biologiset transformaatiot sekä pohjan ja vapaan veden välinen vuorovaikutus ovat selvittämättä.

Leuvan altaan ainepitoisuuksia ja ainetaseita arvioidaan tässä selvityksessä muista Pohjanmaan tekoaltaista, lähinnä Uljuasta, saatujen kokemusten perusteella. Eri altaissa samansuuntaisesti tapahtuvat muutokset hyväksytään myös Leuvalle. Allasta käsitellään verrattain pitkälle "mustana laatikkona", mikä lienee perusteltua, koska altaassa tapahtuvat sisäiset reaktiot ovat vielä liian vähän tunnettuja. Kuitenkin altaiden rakenteelliset piirteet muodostavat tärkeän selittävyyden veden laadun ja ainetaseiden muutoksille. (KENTTÄMIES 1980.)

Kuten edellä mainittiin, on talvitilanteessa havaittu happipitoisuuden ja useiden muiden laatuominaisuuksien pitoisuusarvojen välillä korreloitumista. Tätä työtä varten tehtiin Uljuasta ja Hautaperästä lineaarinen regressioanalyysi, jolla mainittuja yhteyksiä pyrittiin selvittämään. Laskentatulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. HAPPIPITOISUUDEN JA ERAIDEN MUIDEN LAATUMUUTTUJUIEN VALISET REGRESSIOYHTALÖT. LINEAARISET KORRELAATIOT (r) SEKA HAVAINTOPARIEN LUKUMÄÄRÄT (n) ULJUASTA JA HAUTAPERASTA LÄHTEVÄSSÄ VEDESSÄ TALVIKAUTENA. MATERIAALI KÄSITTÄÄ ALTAISTA KERAANTYNEEN AINEISTON VUOTEEN 1979 SAAKKA (OULUN JA KOKKOLAN VESIPIIRIEN VESITOIMISTOT).

Happipitoisuus (x)		Uljuu	Uljuu + Hautaperä
Kiintoaine, mg/l	n	48	71
	y	$-0,80x+12,7$	$-0,87x+13,2$
	r	$-0,45^{xx}$	$-0,48^{xxx}$
Väri, mgPt/l	n	49	67
	y	$-6,78x+282$	$-7,86x+282$
	r	$-0,35^x$	$-0,44^{xx}$
KHT, mg O ₂ /l	n	34	53
	y	$0,40x+26$	$0,11x+26$
	r	$+0,10$	$\pm 0,00$
Rauta, µg/l	n	33	54
	y	$-254x+6380$	$-345x+6310$
	r	$-0,36^x$	$-0,49^{xxx}$
Fosfori, µg/l	n	48	67
	y	$-8,20x+154$	$-9,02x+159$
	r	$-0,54^{xxx}$	$-0,59^{xxx}$
Typpi, µg/l	n	48	67
	y	$-1,22x+748$	$8,08x+781$
	r	$\pm 0,00$	$+0,14$

Talvella on lähtevän veden happipitoisuuden korreloituminen typpipitoisuuteen ja KHT:een ollut heikko. Suurin selittävyysaste on happipitoisuuden ja kokonaisfosforin välillä.

8. HAUTAPERÄN ALTAAN VAIKUTUS KALAJOEN VEDEN LAATUUN

Veden laadun muuttumista Hautaperän tekojärvessä on esitetty taulukossa 5. Tutkimuksen on suorittanut Kokkolan vesipiirin vesitoimisto.

Hautaperän tekojärveen tulevan veden pitoisuudet on laskettu painottamalla järveen laskevista joista tehdyt havainnot havaintokauden keskimääräisellä virtaamalla. Virtaamat on laskettu jokien latvoilla säännöstelypadoista tehdyistä juoksutushavainnoista ja valumien perusteella.

Vastaavasti koko Uljuassa selväpiirteisillä muuttuminen veden laadussa on tapahtunut happipitoisuudessa ja kiintoainepitoisuudessa. Happipitoisuus on vähentynyt voimakkuimmin kevä-talvella, mutta myös kesäkuukausien aikana on happea kulunut. Kesätilanteeseen vaikuttaa altaassa tapahtuva orgaanisen aineen tuotto; hajoava levämassa kuluttaa pohja-aineksen ohella happea. Kiintoaineen keskimääräinen poistumisaste hetkellisistä pitoisuuseroista laskettuna on happiminimiä ja tulvaa lukuunottamatta ollut Hautaperässä 65 %.

TAULUKKO 5. VEDEN LAADUN KESKIMÄÄRINEN MUUTTUMINEN HAUTAPERAN TEKOJARVESSA V. 1975 - 1979. PITOISUUKSIEN MUUTTUMINEN ON LASKETTU ALTAASTA LÄHTEVÄN VEDEN JA ALTAASEEN TULEVAN VEDEN PITOISUUSARVOJEN EROTUKSENA. SULUISSA OLEVAT LUVUT OSOITTAVAT TULEVAN VEDEN KESKIMÄÄRAISEN PITOISUUDEN JA HAVAINTOJEN KESKIHAJONNAN. (ANALYYSIAINEISTO: KOKKOLAN VESIPIIRIN VESITOIMISTO).

	O_2 mg/l	Kiintoaine mg/l	Kok.P µg/l	Kok.N µg/l	Väri mgPt/l
ALKUTALVI (XII-II)					
\bar{X}	-3,8 (11,5)	-2,0 (6,4)	+5 (65)	+65 (638)	+26 (176)
s	2,0 (0,5)	1,7 (4,2)	28 (8)	107 (157)	33 (25)
n	16	15	16	15	16
KEVÄTTALVI (III-IV)					
\bar{X}	-9,9 (11,3)	+4,0 (10,5)	+63 (82)	+68 (776)	+131 (183)
s	1,7 (0,4)	11,1 (8,9)	49 (20)	272 (187)	104 (51)
n	14	14	13	13	14
KEVÄTTULVA (IV-V)					
\bar{X}	-3,7 (10,8)	-9,3 (34,7)	-1 (100)	+129 (648)	+11 (176)
s	2,6 (1,3)	19,8 (18,6)	31 (53)	199 (162)	78 (45)
n	18	18	18	18	18
KESÄ (VI-VIII)					
\bar{X}	-1,8 (8,7)	-2,1 (7,9)	+8 (54)	+68 (529)	-8 (181)
s	1,3 (1,4)	3,7 (4,1)	17 (12)	103 (107)	34 (26)
n	16	16	16	16	16
SYKSY (IX - XI)					
\bar{X}	-1,3 (11,7)	-5,9 (11,8)	+20 (50)	+148 (608)	+34 (182)
s	0,9 (1,4)	10,7 (10,7)	34 (24)	226 (151)	29 (24)
n	14	14	14	14	14

Humusta ilmentävän veden värin kohdalla on talvella tapahtunut vähäistä lisääntymistä, mutta kesällä vähenemistä. Myös fosfori- ja typpipitoisuus ovat vähentyneet kesällä, mutta talvella erityisesti happiminimin aikana fosforin määrä on noussut. Typen kohdalla on alkutalvella havaittavissa lisääntymistä, mutta kevättalvella ei ole havaittavissa johdonmukaista pitoisuuden muuttumista.

Veden pH:n osalta ei johdonmukaista muutosta voida todeta avovesikauden aikana. Talvella pH on verrattain tasaisesti alentunut 0,1 - 0,4 yksikköä (tuleva 6,1 - 6,5 ja lähtevä 5,9 - 6,4).

Kolmen ensimmäisen vuoden aikana ei Hautaperän altaan vaikutuksessa voida havaita selviä piirteistä kehittymistä. Tulevan ja lähtevän veden pitoisuuksien erotukset ovat pysyneet samalla tasolla.

Tilanteen kehittyminen Hautaperän alapuolisessa Kalajoessa on esitetty taulukossa 6. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava näytteenottoajankohtien eriarvoisuus. Ennen Hautaperän altaan rakentamista näytteenotto suoritettiin 4 kertaa vuodessa, eikä talven tutkimuskerta maaliskuun alussa edusta huonointa aikaa vuodesta, jolloin Kalajoen veden laatu oli jo ennen allasta verrattain heikko. Altaan rakentamisen jälkeen tutkimuksia on suoritettu myös huonoimpana aikana vuodesta, jolloin voidaan tehdä väärä johtopäätös altaan vaikutuksesta. Taulukossa 6 on esitetty ainoastaan vesihallituksen virtahavaintopaikkojen tulokset, jolloin näytteenottoajankohdat ovat olleet samanaikaisia.

TAULUKKO 6. KALAJOEN KESKIMÄÄRÄINEN VEDEN LAATU NIVALAN KOHDALLA ENNEN JA JÄLKEEN HAUTAPERÄN TEKOJÄRVEN RAKENTAMISEN (n = havaintoparien lukumäärä, s = havaintojen keskihajonta) (analyysiaineisto: Kokkolan vesipiirin vesitoimisto).

AIKA		O ₂ %-kyll.	Kok.P ug/l	Kok.N ug/l	Väri mgPt/l	Kiintoaine mg/l
MAALISKUU						
1970 - 1975	\bar{X}	55	71	1041	221	10,2
	s	9	37	437	45	5,7
	n	6	6	6	6	5
1976 - 1975	\bar{X}	39	79	1131	194	5,0
	s	9	4	435	33	1,0
	n	4	4	4	4	4
TOUKOKUU						
1970 - 1975	\bar{X}	79	67	986	232	27,6
	s	3	33	171	28	9,0
	n	6	6	6	6	6
1976 - 1978	\bar{X}	96	110	1289	200	18,3
	s	7	25	579	56	6,0
	n	2	3	3	3	2
ELOKUU						
1970 - 1975	\bar{X}	45	124	1085	253	15,3
	s	13	44	473	67	11,3
	n	6	6	6	6	6
1976 - 1978	\bar{X}	66	124	918	191	2,8
	s	8	45	50	32	1,2
	n	3	3	3	3	3
LOKAKUU						
1970 - 1975	\bar{X}	73	73	1052	237	8,4
	s	11	12	150	41	5,9
	n	6	6	6	6	6
1976 - 1978	\bar{X}	69	78	1091	165	4,8
	s	14	16	173	28	0,5
	n	3	3	3	3	3

Siikajoen tilannetta vastaavasti kevättalven happitilanne on huonontunut aina Kalajoen suulle saakka. Muilta osin selvää veden laadun heikkenemistä ei voida osoittaa. Kiinto-aineen määrä on altaan käyttöönoton jälkeen ollut alhaisempi kuin ennen altaan rakentamista.

9. ULJUAN ALTAAN VAIKUTUS SIIKAJOEN VEDEN LAATUUN

9.1 Yleistä

Vedessä olevien aineosasten pitoisuudet määräävät veden laadun. Ainepitoisuudet muodostavat tärkeän veden eliöstöön vaikuttavan tekijäsystemin.

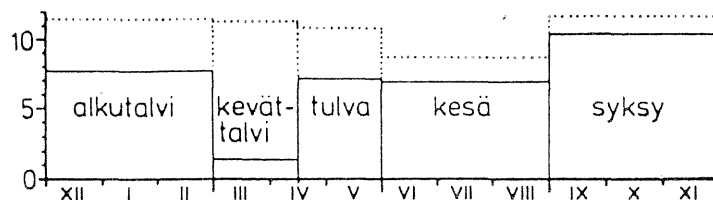
Kun otetaan lähtökohdaksi tekoaltaan aiheuttama muutos ennen rakentamista valinneeseen tilanteeseen nähden, voidaan huomio keskittää altaaseen tulevan ja siitä lähtevän veden hetkellisiin laatueroihin. Ennen altaan rakentamista jokivedet kulkeutuivat muutamassa tunnissa ohi sen kohdan, johon ne nyt altaan viipymän vuoksi tarvitsevat useita kuukausia. Viipymä voidaan pitoisuusmuutoksia tarkasteltaessa ainakin osittain sivuuttaa, koska se on muutos, joka on altaan aiheuttama. Tutkimustuloksia Uljuan altaasta on esitetty taulukoissa 7 ja 8 sekä kuvissa 15 - 17. Tutkimustuloksia Siikajoesta ennen Uljuan rakentamista ja sen jälkeen on esitetty taulukossa 9.

Uljuan altaasta lähtevä vesi kuvaneeen altaan veden keskimääräistä laatua. Tähän vaikuttaa Uljuan pitkänomainen muoto ja se, että vesi juoksutetaan syvältä.

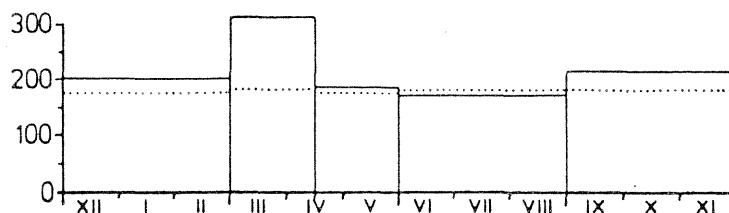
TAULUKKO 7. VEDEN LAADUN KESKIMÄÄRÄINEN MUUTTUMINEN ULJUAN ALTAASSA V. 1970 - 1978.

PITOISUUSARVOJEN MUUTTUMINEN ON LASKETTU ALTAASTA LÄHTEVÄN JA ALTAASEEN TULEVAN VEDEN PITOISUUSARVOJEN EROTUKSENA (s = keskihajonta, n = havaintojen lukumäärä). SULUISSA OLEVAT LUVUT OSOITTAVAT TULEVAN VEDEN KESKIMÄÄRÄISEN PITOISUUDEN JA HAVAINTOJEN KESKIHAJONNAN. (Aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).

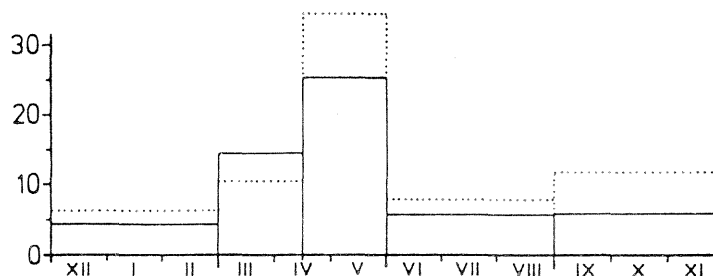
	Q ₂ mg/l	Kiintoaine mg/l	Kok.P ug/l	Kok.N ug/l	Väri mgPt/l
ALKUTALVI (XII-II)					
X	-3,8 (11,5)	-2,0 (6,4)	+5 (65)	+65 (638)	+26 (176)
s	2,0 (0,5)	1,7 (4,2)	28 (8)	107 (157)	33 (25)
n	16	15	16	15	16
KEVÄTTALVI (III-IV)					
X	-9,9 (11,3)	+4,0 (10,5)	+63 (82)	+68 (776)	+131 (185)
s	1,7 (0,4)	11,1 (8,9)	49 (20)	272 (187)	104 (51)
n	14	14	13	13	14
KEVÄTTULVA (IV-V)					
X	-3,7 (10,8)	-9,3 (34,7)	-1 (100)	+129 (648)	+11 (186)
s	2,6 (1,3)	19,8 (18,6)	31 (53)	199 (162)	78 (45)
n	18	18	18	18	18
KESA (VI-VIII)					
X	-1,8 (8,7)	-2,1 (7,9)	+8 (54)	+68 (529)	-8 (181)
s	1,3 (1,4)	3,7 (4,1)	17 (12)	103 (107)	34 (26)
n	16	16	16	16	16
SYKSY (IX - XI)					
X	-1,3 (11,7)	-5,9 (11,8)	+20 (50)	+148 (608)	+34 (182)
s	0,9 (1,4)	10,7 (10,7)	34 (24)	226 (151)	29 (24)
n	14	14	14	14	14



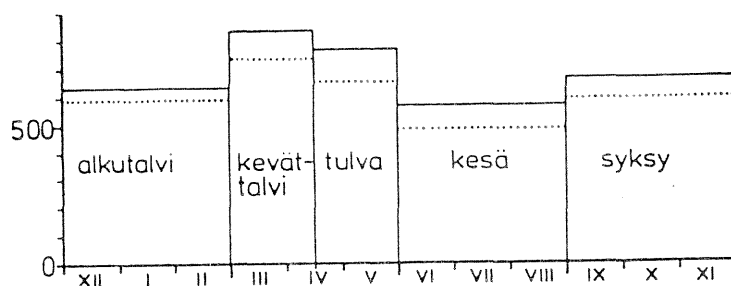
mg/l HAPPI



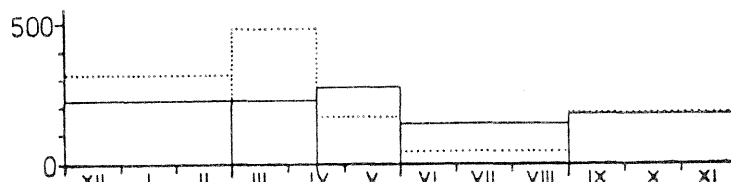
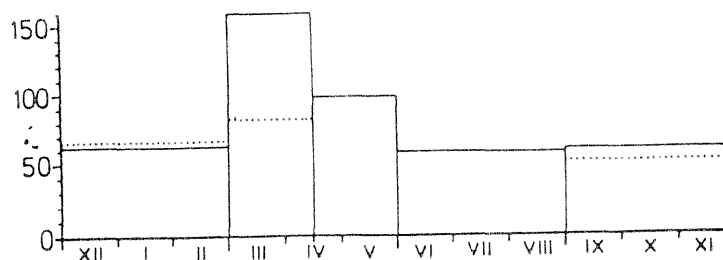
mg Pt/l VÄRI



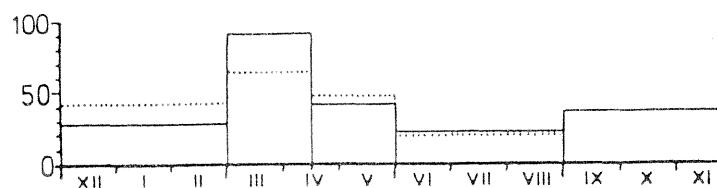
mg/l KIINTOAINE



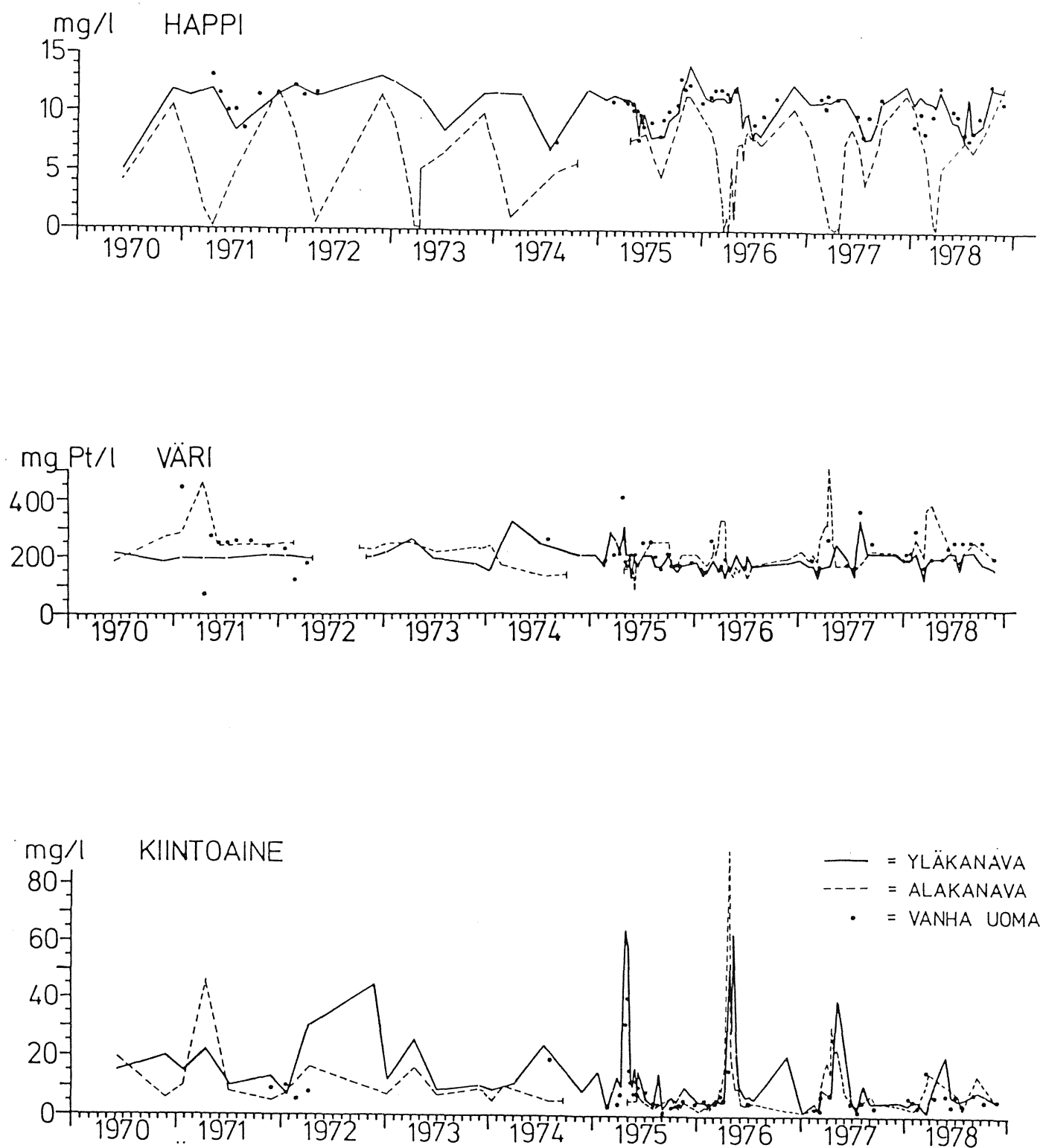
µg/l KOK.N

µg/l NO₃ + NH₄ + NO₂

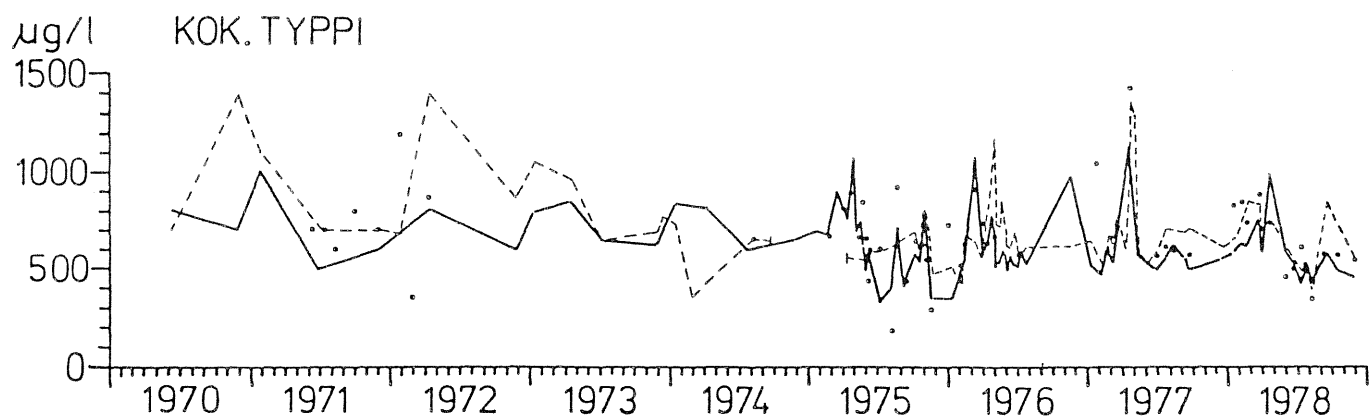
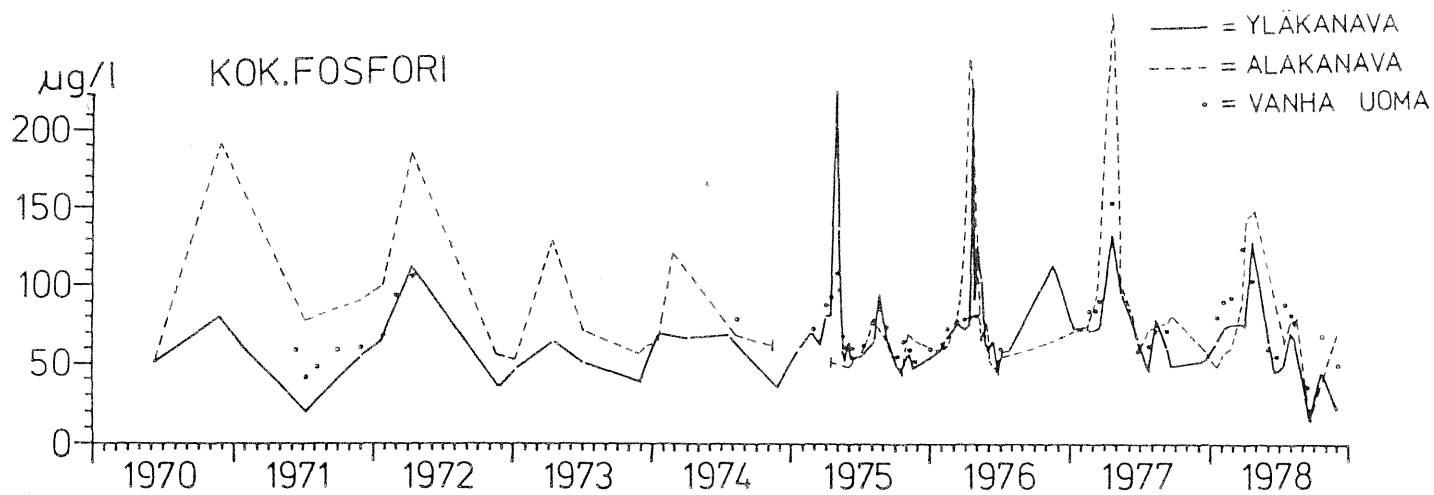
µg/l KOK.P

µg/l PO₄-P

KUVA 15. HAPEN, VÄRIN JA KIINTOAIKNEEN (\bar{x} 1970 - 1979) SEKA RAVINTEIDEN (\bar{x} 1975 - 1979) KESKIMÄÄRAISET PITOISUUDET ULJUAN ALTAASEEN TULEVASSA JA ALTAASTA LAITEVASSA VEDESSÄ. (Analyysiaineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).



KUVA 16. ULJUAN ALTAASEEN TULEVAN JA ALTAASTA LÄHTEVÄN SEKÄ ALTAAN KOHDALLA OLEVAN VANHAN UOMAN VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN V. 1970 - 1978 (Oulun vesipiirin vesitoimisto)



KUVA 17. ULJUAN ALTAASEEN TULEVAN JA ALTAASTA LÄHTEVÄN SEKÄ ALTAAN KOHDALLA OLEVAN VANHAN UOMAN VEDEN LAADUN KEHITTYMINEN V. 1970 - 1978. (Oulun vesipiirin vesitoimisto.)

TAULUKKO 8. VEDEN RAVINNEPITOISUUDEN KESKIMÄÄRÄINEN MUUTTUMINEN ULJUAN ALTAASSA V. 1975 - 1979. PITOISUUSARVOJEN MUUTTUMINEN ON LASKETTU ALTAASTA LÄHTEVÄN JA ALTAASEEN TULEVAN VEDEN PITOISUUSARVOJEN EROTUKSENA (s = keskihajonta, n = havaintojen lukumäärä). SULUISSA OLEVAT LUVUT OSOITTAVAT TULEVAN VEDEN KESKIMÄÄRÄISEN PITOISUUDEN JA HAVAINTOJEN KESKIHAJONNAN (analyysiaineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).

	Kok.N µg/l	NO ₃ -N µg/l	NH ₄ -N µg/l	NO ₂ -N µg/l	NO ₃ +NH ₄ +NO ₂ µg/l	Kok.P µg/l	PO ₄ -P µg/l
ALKUTALVI (XII-II)							
\bar{X}	+41 (591)	-74 (237)	-22 (76)	1 (3)	-94 (317)	-4 (66)	-14 (42)
s	134 (152)	62 (62)	30 (24)	7 (2)	63 (60)	11 (8)	12 (16)
n	12	12	12	12	12	12	12
KEVÄTTALVI (III-IV)							
\bar{X}	+99 (736)	-290 (346)	+21 (134)	+1 (3)	-260 (483)	+77 (82)	+27 (64)
s	232 (245)	57 (44)	69 (141)	3 (2)	58 (170)	55 (22)	39 (14)
n	8	8	7	8	7	8	8
KEVÄTTULVA (IV-V)							
\bar{X}	+116 (652)	+51 (96)	+55 (64)	+2 (3)	+105 (166)	±0 (98)	-6 (47)
s	201 (158)	106 (61)	81 (72)	3 (5)	161 (115)	31 (52)	24 (34)
n	19	18	19	19	18	19	19
KESÄ (VI-VIII)							
\bar{X}	+82 (487)	+54 (30)	+45 (8)	±0 (2)	+100 (40)	±0 (58)	+3 (19)
s	92 (78)	48 (33)	28 (9)	2 (1)	68 (39)	10 (7)	8 (2)
n	11	11	11	11	11	11	11
SYKSY (IX-XI)							
\bar{X}	+72 (593)	+6 (120)	-12 (58)	-1 (5)	-8 (183)	+9 (51)	-1 (37)
s	182 (188)	56 (38)	61 (64)	2 (3)	77 (79)	27 (28)	16 (19)
n	9	10	10	10	10	9	9

9.2 Happi

Uljuan allas vähentää kaikkina vuodenaikoina veden happipitoisuutta. Erityisen voimakasta hapen väheneminen on kevättalvella, jolloin altaasta voi lähteä hapetonta vettä. Altaaseen tulevassa vedessä ei talven aikana tapahdu selvää happipitoisuuden alenemista (taulukko 7).

Talven happitilanteen kehittymistä Uljuasta lähtevässä vedessä on esitetty kuvassa 12. Myöhään syksyllä Uljuan altaan vesi on sisältänyt happea keskimäärin 12,4 mg/l ja erot eri vuosien aikana tässä tilanteessa ovat olleet varsin vähäisiä. Tammikuuhun mentäessä happipitoisuus altaasta lähtevässä vedessä on ollut 1 - 2 mg/l alhaisempi. Vesitilavuuden pienentyessä helmi-maaliskuussa happipitoisuus on voimakkaasti alentunut. Heikoin tilanne on tavattu maalis-huhtikuun vaihteessa, jolloin hapen määrä lähtevässä vedessä on säännönmukaisesti ollut lähellä nollaa. Oulun vesipiirin vesitoimiston suorittamat välittömän hapenkulutuksen määritykset osoittavat, että altaan pohjan lähellä vesi ei kuitenkaan ole voimakkaasti pelkistyneessä tilassa. Välitön hapenkulutus (negatiivinen happi) on Uljuan syvänteessä lähellä pohjaa ollut alle 1 mgO₂/l.

Lamujosta tulevien vesien ja ilmastumisen ansiosta Siikajoessa Lamujoen yhtymäkohdan jälkeen happipitoisuus on ollut 2 - 5 mg/l. Rantsilan kohdalla maaliskuun happitilanne on Uljuan altaan rakentamisen jälkeen ollut keskimäärin 30 %-kyll. astetta alhaisempi kuin ennen Uljuua; Siikajoen suulla (Revonlahti) vastaava erotus on ollut keskimäärin 23 %-kyll. (taulukko 5).

Kesäaikana happipitoisuus Uljuan altaasta lähtevässä vedessä on ollut 1 - 2 mg/l alhaisempi kuin altaaseen tulevassa vedessä. Vesimassojen ilmastuminen poistaa kuitenkin happivajauksen verrattain pian. Happipitoisuus Siikajoen pääuomassa ei ole kesäaikana ollut Uljuan jälkeen keskimääräisesti mainittavasti alhaisempi kuin ennen Uljuan rakentamista. Tulosten hajontakaan ei ole selvästi suurentunut (taulukko 5).

9.3 pH

Kevättulvan aikaa lukuunottamatta veden pH on laskenut altaan vaikutuksesta. Suurimmat erot tulevan ja lähtevän veden välillä ovat olleet yli yhden yksikön, keskimääräisen eron ollessa 0,5 - 0,6 yksikköä. Veden pH:n aleneminen on ollut suurinta kevättalvella (6,4 - 6,8 → 5,8 - 6,0).

9.4 Humus

Humuspitoisuuden ilmentäjäksi valittiin veden väri. Veden väri Uljuaan tulevassa vedessä on läpi vuoden varsin samaa suuruusluokkaa (kuva 15). Selvin lisääntyminen altaan vaikutuksesta on havaittavissa kevättalvella: veden väri on lisääntynyt lähes kaksinkertaiseksi johtuen altaan hapettomuudesta. Myös syksyllä allas on keskimääräisesti jonkin verran lisännyt veden humuspitoisuutta. Eräissä muissa tekojärvisissä on keväällä padottavien tulvavesien havaittu nostavan kesäaikana alapuolisen vesistön humuspitoisuutta. Uljuan altaan kohdalla tällaista ei voida todeta, koska altaaseen tuleva tulvavesi sisältää humusta yhtä paljon kuin "kesävesi".

Uljuan alapuolisessa Siikajoessa maaliskuun väriarvot ovat Uljuan käyttöönoton jälkeen lisääntyneet 30 - 35 %. Kesäaikana ei lisääntyminen, hajonta huomioonottaen, ole ollut selväpiirteinen; Rantsilan kohdalla veden väri on Uljuan käyttöönoton jälkeen ollut elokuussa ja lokakuussa hieman korkeampi kuin ennen Uljuan rakentamista; joen suulla (Revonlahti) ei nousua ole havaittavissa (taulukko 5).

9.5 Kiintoaine

Kevättalvea lukuunottamatta Uljuan allas vähentää veden kiintoainepitoisuutta. Keskimääräinen poistumisprosentti on ollut tulvan ja happiminimin aikaa lukuunottamatta 36 %.

Ennen Uljuan rakentamista suoritettut kiintoainemääritykset Siikajoen vesistössä ovat olleet vähäisiä. Altaan rakentamisen jälkeen Rantsilan ja Revonlahden kohdalla tehdyt kiintoainehavainnot ovat olleet alhaisemmat kuin ennen altaan rakentamista.

9.6 Ravinteet

Kokonaisfosforin kohdalla Uljuan allas kaksinkertaistaa pitoisuuden happiminimin aikana. Muuna aikana ei pitoisuus voimakkaasti muutu, kun verrataan altaaseen tulevaa ja siitä lähtevää vettä. Syksyllä on havaittavissa vähäistä nousua altaan kohdalla. Viime vuosina syksyn tilanteessa ero on vähäisempi kuin altaan alkuaikana (vrt. taulukot 7 ja 8).

Kokonaistypen kohdalla on kaikkina vuodenaikoina havaittavissa vähäistä pitoisuuden nousua. Tilanne on alkuvuosien jälkeen kehittynyt parempaan suuntaan, mutta edelleen on etenkin kesällä havaittavissa typpipitoisuuden nousua Uljuan altaan kohdalla.

Fosfaattifosforin pitoisuus kasvaa Uljuan altaassa happiminimin aikana. Tulvavesi, josta allas täytetään, sisältää keskimäärin kaksinkertaisen määrän fosfaattia kuin altaaseen kesällä tuleva vesi. Kuitenkaan allas ei kesäaikana, jolloin tulvavesiä juoksutetaan, näytä lisäävän veden fosfaattipitoisuutta. Tämä johtunee siitä, että fosfaattia poistuu vedestä runsaaseen humus- ja rautapitoisuuteen liittyen.

Mineraalitypen ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4 + \text{NO}_2 - \text{N}$) pitoisuus altaasta lähtevässä vedessä on talvella selvästi pienempi kuin altaaseen tulevassa vedessä. Tähän vaikuttaa se, että talvella altaasta juoksutettava vesi on pääasiassa kesällä ja syksyllä tullutta vettä, jossa mineraalitypen määrä on selvästi pienempi kuin altaaseen talvella tulevassa vedessä. Happiminimi ei näytä aiheuttavan mineraalitypen pitoisuuden lisääntymistä.

Kesällä mineraalitypen pitoisuus altaasta lähtevässä vedessä on ollut kolminkertainen altaaseen tulevaan veteen nähden. Tähän vaikuttaa se, että kevättulvan vedessä on selvästi enemmän mineraalityppeä kuin altaaseen kesällä tulevassa vedessä. Pitoisuuden muuttuminen näyttää olevan hidasta ja näin ollen mineraalitypen lisääntyminen kesällä johtuu siitä, että tulvavesien juoksutus tapahtuu silloin. Muutos on selväpiirteisin alkukesällä.

Typpi-fosforisuhde muuttuu altaan vaikutuksesta selvästi kesäaikana. Uljuun tulevassa vedessä mineraalitypen ja fosfaatin suhde on kesällä ollut keskimäärin 2,1:1 ja altaasta lähtevässä vedessä 6,4:1. Uljuan altaan vaikutuksesta typpi-fosforisuhde muuttuu kesäaikana lähemmäksi levästön optimiarvoa (7:1).

9.7 Leväkasvillisuus

Edellä osoitettiin, että Uljuan allas muuttaa Siikajoen veden typpi-fosforisuhdetta kasviplanktonille edulliseen suuntaan; Uljuan altaaseen tulevassa vedessä typpeä on vähän; altaasta lähtevässä vedessä N-P-suhde on lähellä tuotannon optimiarvoa. Tästä seuraa, että allas lisää levästön kasvupotentiaalia. Oulun vesipiirin vesitoimiston alustavissa tutkimuksissa on levätestien avulla tällaista todettakin (MYLLYMAA, suull., HEINONEN 1981).

Uljuan altaassa on Oulun vesipiirin tutkimuksissa todettu seuraavia klorofyllipitoisuuksia:

14.7.1976	2,3 ug/l	7.6.1977	3,8 $\mu\text{g/l}$	20.6.1978	17,0 $\mu\text{g/l}$
		27.6.1977	3,5 $\mu\text{g/l}$	12.7.1978	31,4 $\mu\text{g/l}$
		5.7.1977	3,4 $\mu\text{g/l}$	7.8.1978	13,9 $\mu\text{g/l}$
		8.8.1977	16,6 $\mu\text{g/l}$		

Elokuun 1977 ja kesän 1978 kaikki havainnot osoittavat voimakasta rehevöityneisyyttä.

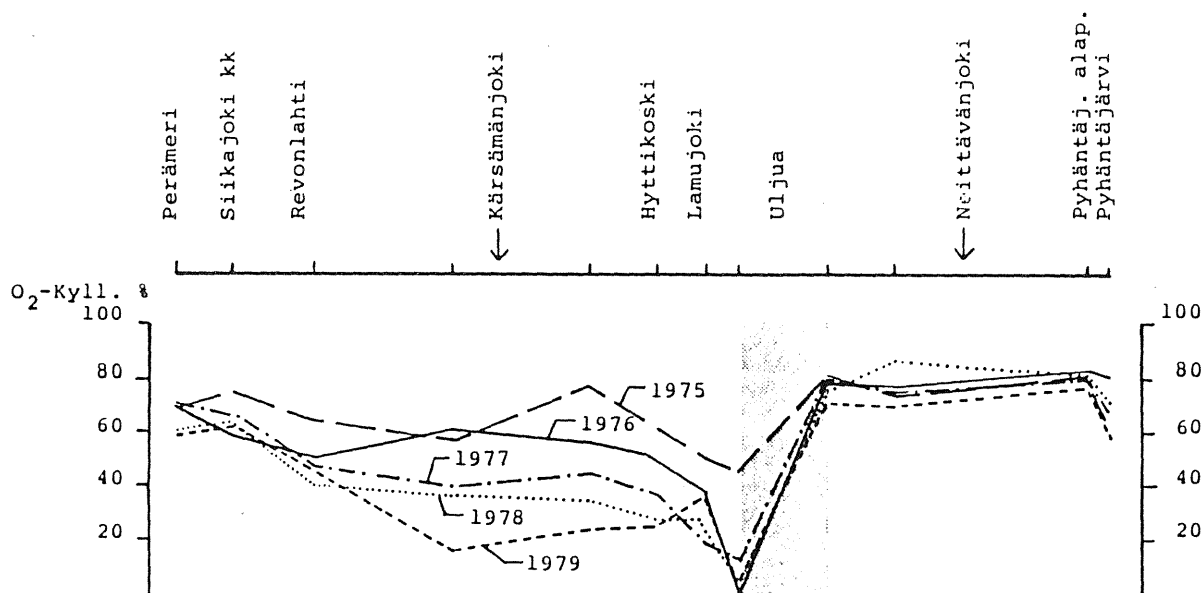
Uljuun edeltävältä ajalta ei Siikajoesta ole käytettävissä kasviplanktonaineistoa. Joen vesi on kuitenkin luonnostaan hyvin ravinnepitoista. Ennen Uljuan allasta ei joessa ollut järviällä, jossa levästön kehittyminen olisi päässyt tapahtumaan. Siikajoen pääuomassa vedet kulkeutuvat muutamassa päivässä mereen saakka. Runsas humusaines heikentää valaistusta vedessä ja joen virtaus aiheuttaa syvyyssuuntaista sekoittumista. Nämä seikat vaikuttavat siihen, että pääuomassa kasviplankton ei pääse kehittymään voimakkaasti. Vesien patoutuminen Uljuan altaaseen on tämän mahdollistanut. Uljuan altaan alapuolisessa vesistössä on altaassa syntyneen levästön hajoaminen todennäköisesti vallitsevampi suuntaus kuin uuden syntyminen.

Pohjuan kiinnittynyttä levästöä ei Siikajoen alaosalla ole riittävästi tutkittu. Myös tältä alueelta on epäilty löytyvän veden käyttökelpoisuuteen ja sen eliöstöön kohdistuvia vaikutuksia.

9.8 Tilanteen kehittyminen

Uljuan allas aiheutti rakentamisvaiheessa voimakkaan samentumisen alapuolisessa vesistössä (kuvat 4 ja 5). Tämä johtui siitä, että töitä allasalueella suoritettiin imuruoppaajalla ja hyvin hienojakoista lietettä pääsi vesistöön.

Uljuan allas täytettiin vuoden 1970 kevättulvasta. Avovesikauden sekoittuvassa vedessä on täytön jälkeisenä kesänä tavattu heikoin happitilanne (40 - 50 %-kyll.). MYLLYMAAN (1978) mukaan vaikein talvitilanne Siikajoen alajuoksulla tavattiin myös heti altaan käyttöönoton jälkeen. Happitilanteessa ei tämän jälkeen ole tapahtunut selvää myönteistä kehittymistä. Tämä voidaan havaita kuvasta 18.



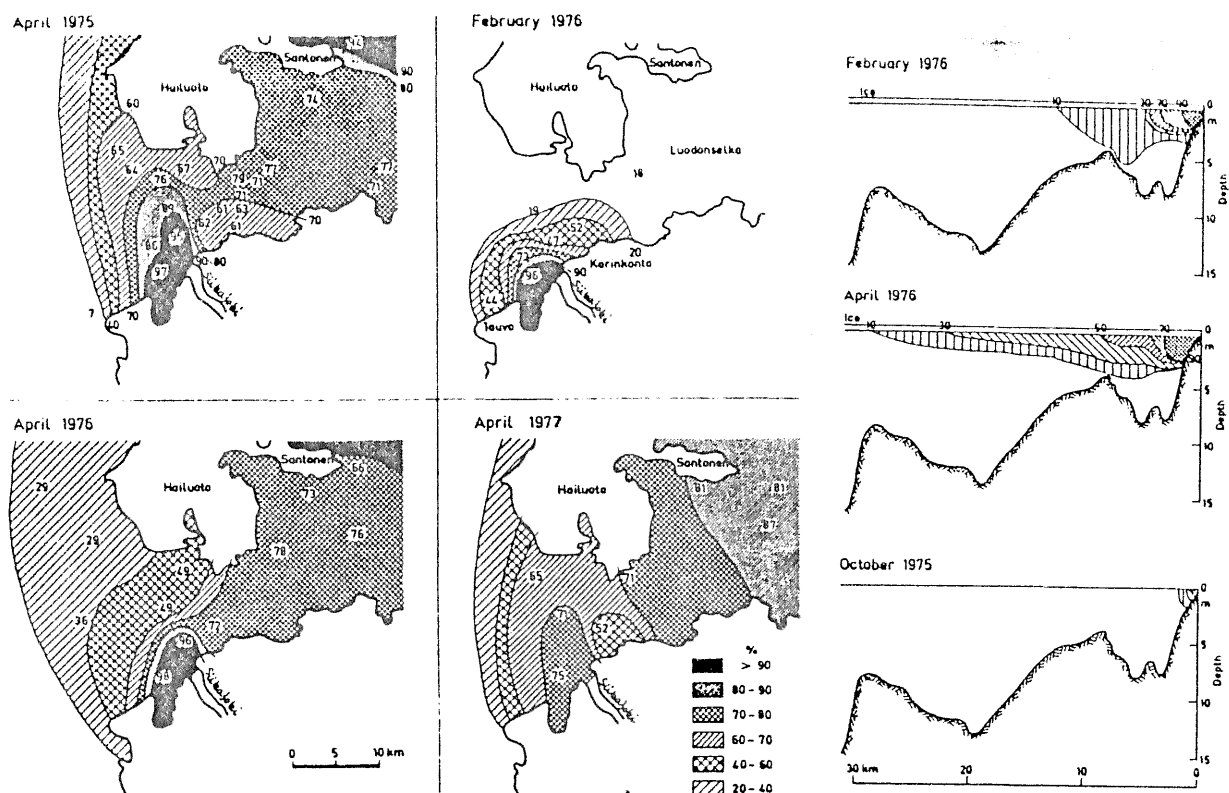
KUVA 18. KEVÄTTALVEN HAPPIKILANNE SIIKAJOEN PAXUOMASSA YHTEISTARKKAILUN TULOSTEN PERUSTEELLA.

Taulukkoja 7 ja 8 vertaamalla voidaan havaita, että veden väriarvot sekä kokonaistypen ja -fosforin pitoisuusero altaasta lähtevässä ja altaaseen tulevassa vedessä oli alkuvuosina (1970-73) suurempi kuin nykyisin. Osittain tähän on vaikuttanut turpeen nousu, joka alkuaikana heikensi nykyistä tilannetta enemmän altaan veden laatua.

9.9 Merialue

Siikajoki laskee vetensä Perämereen Hailuodon ja Luodonselän matalikon suojaamaan lahdkeeseen. Kesällä Siikajoen vedet sekoittuvat tehokkaasti meriveteen ja jokivesien vaikutusalue on suppea. Talvella jokivedet kerääntyvät jääalaiseksi patjaksi ja tällöin vaikutusalue ulottuu Hailuodon tasolle saakka. Jokivesien leviämistilanteita on esitetty kuvassa 19.

Suuri osa talvenaikaisesta Siikajoen virtaamasta jää joen suualueelle. Uljuan altaan säännöstelyn avulla on Siikajoen talvella kuljettama vesimäärä lisääntynyt 4-kertaiseksi. Tällainen jokivesimäärän lisääntyminen tuntuu selvästi talvella myös merialueella. Tilannetta havainnollistaa kuvassa 19 esitetty helmikuun ja huhtikuun tilanteen ero



KUVA 19. JOKIVEDEN %-OSUUS PINTAVEDESSÄ (1 m) HUHTIKUUSSA V. 1975-1977 JA HELMIKUUSSA 1976 (vasemmalla) JA JOKIVEDEN %-OSUUS PROFIILILEIKKAUKSESSA SUULTA LANTEEN (oikealla) MYLLYMAA et al:n (1978) MUKAAN.

v. 1976. Helmikuuhun mentäessä oli Siikajoki tuonut merialueelle noin puolet huhtikuuhun saakka tapahtuneesta talvenaikaisesta jokivirtaamasta. Ilman Siikajoen säännöstelyä koko talven vesimäärä olisi ollut vain puolet helmikuun tilanteesta. Tästä voidaan päätellä, että Siikajoen säännöstely on huomattavasti laajentanut jokivesien vaikutusaluetta merialueella. Uljuan altaan aiheuttama veden laadun selvä heikkeneminen painottuu loppupalveen, joten mainittu veden laatu muutos merialueella tuntuu jokisuun välittömässä läheisyydessä. Jokivesien leviämisen alueen ääri rajoilla pintavesipatjaan sekoittuva merivesi parantaa tilannetta. Lisäksi veden laatu jokivesipatjan alapuolella on lähellä Siikajoen suualuetta paljon samanlainen kuin avomerellä.

9.10 Todetut haittavaikutukset

Uljuan altaan rakentamisen aikana v. 1969 tuhoutui Siikajoen rapukanta. Täysin kiistattomasti ei ole kuitenkaan voitu osoittaa rapuruton osuutta kannan tuhoutumiseen. Viimeisimpien tutkimusten perusteella pidetään varsin todennäköisenä, että rapukuoleman aiheutti ruoppausmassojen johdosta syntynyt voimakas veden samentuminen (WESTMAN 1979).

Happitilanteen huonontuminen kevättalvella ja vuorokausisäännöstely heikentävät kalaston toimeentuloa Siikajoen alajuoksulla (SALMELA 1979).

Kalojen makuvirheet ovat Siikajoen alajuoksulla tuntuneet voimakkaina vuosina 1978 ja 1979 (SALMELA 1979). Erityisesti makuvirheet ovat haitanneet nahkiaisen pyyntiä. Näyttää siltä, että makuvirheet olisivat yhteydessä levästöön, mutta kokonaisuutena syytiedot eivät ole vielä selvinneet; Uljuan altaassa makuvirheet eivät ole olleet selkeä ongelma kuin Siikajoen alajuoksulla. SALMELA (1978) epäilee pohjalla kasvavan levästön aiheuttaneen makuvirheitä.

10. ULJUAN JA HAUTAPERAN TEKOALTAIDEN VAIKUTUS SIKAJOEN AINETASEISIIN

Ainetaseita kuvataan vedessä olevien aineosasten ainevirtaamien avulla (dimensio esim. kg/d). Ainetaseet eivät suoraan ilmennä veden laatua ja siinä tapahtuvia muutoksia.

Uljuan altaan pitkän viipymän johdosta vain vuositasolla lasketut ainetaseet kuvaavat altaassa tapahtuvien kemiallisten ja fysikaalisten muodonmuutosten lopputulosta. Tästä johtuen ainetaseiden määrittämistä vaikeuttavat ainevirtaamissa esiintyvät huomattavat suuret vuodenaikaiset erot. Taulukosta 10 ilmenee, että Uljuan altaaseen tulevasta vuotuisista ainemäärästä 60 - 90 % tulee kevättulvan aikana.

TAULUKKO 10. AINEVIRTAAMIEN JAKAUTUMINEN ULJUAN ALTAASEEN TULEVASSA JA ALTAASTA LÄHTEVÄSSÄ VEDESSÄ PERTTUSEN (1976) MUKAAN. TULVAN (IV-V, 41 d), HAPPIMINIMIN (III-IV, 20 d) JA VUODEN MUUNA AIKANA VIRRRANNEEN AINEMÄÄRÄN OSUUDET (%) KOKO VUODEN AINEVIRTAAMASTA. SULUISSA OLEVAT LUKEMAT OSOITTAVAT ALTAASTA LÄHTEVÄN JA ALTAASEEN TULEVAN AINEVIRTAAMAN SUHDETTA.

		Tulva	Happiminimi	Muu aika
Vesimäärä	- tulo	60,1	1,3	38,6
	- lähtö	22,1 (0,37)	4,3 (3,2)	73,6 (1,9)
Kiintoaine	- tulo	89,2	0,6	10,2
	- lähtö	51,6 (0,16)	6,9 (3,2)	41,5 (1,1)
Rauta	- tulo	68,5	1,7	29,8
	- lähtö	21,2 (0,25)	9,6 (4,5)	69,2 (1,9)
Kokonaisfosfori	- tulo	80,2	1,1	18,7
	- lähtö	26,9 (0,21)	11,0 (6,4)	62,1 (2,1)
Fosfaattifosfori	- tulo	78,5	1,4	20,1
	- lähtö	19,0 (0,12)	11,6 (4,4)	69,4 (1,8)
Kokonaistyyppi	- tulo	68,2	1,4	30,4
	- lähtö	23,7 (0,31)	5,9 (3,7)	70,4 (2,1)
KHT	- tulo	66,4	1,1	32,5
	- lähtö	20,9 (0,30)	5,7 (4,9)	73,3 (2,2)

Uljuan allas tasoittaa ainevirtaamajakautumaa siten, että tulvan aikana altaasta lähtevä ainemäärä on 20 - 50 % koko vuoden aikana lähtevästä ainemäärästä. Tulvan aikana altaaseen kerätty vesimäärä ja ainemäärät poistuvat altaasta "muuna aikana", erittäinkin talvella, jolloin allas tyhjennetään. Altaan suuresta viipymästä johtuen tapahtuu erityisesti tulvavedestä aineiden pidättymistä. Selvän poikkeuksen muodostaa happiminimin aika, jolloin ainevirtaamat kauttaaltaan kasvavat altaan vaikutuksesta.

Uljuan altaaseen tulevat ainevirtaamat painottuvat erittäin voimakkaasti kevättulva-kauteen. Vuositasolle laskettuihin ainetaseisiin vaikuttaa tämän vuoksi oleellisesti se, kuinka paljon havaintoja on tehty tulvan aikana. Uljuan olemassaolon ajalta vahintotiheys voidaan katsoa riittäväksi tulva-ajan osalta ainoastaan vuosina 1975 ja 1976. Ainemäärien muuttuminen altaassa kyseisinä vuosina on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. AINEMÄÄRIEN (t/a) MUUTTUMINEN (%) VUOSITASOLLA LASKETTUNA ULJUAN JA HAUTAPERÄN ALTAISSA. ULJUAN TILANNE VUOSILTA 1975-76 JA 1976-77 ON LASKETTU ALTAAN TÄYTÖSTÄ ALKAEN (analyysiaineisto: Oulun ja Kokkolan vesipiirien vesitoimistot).

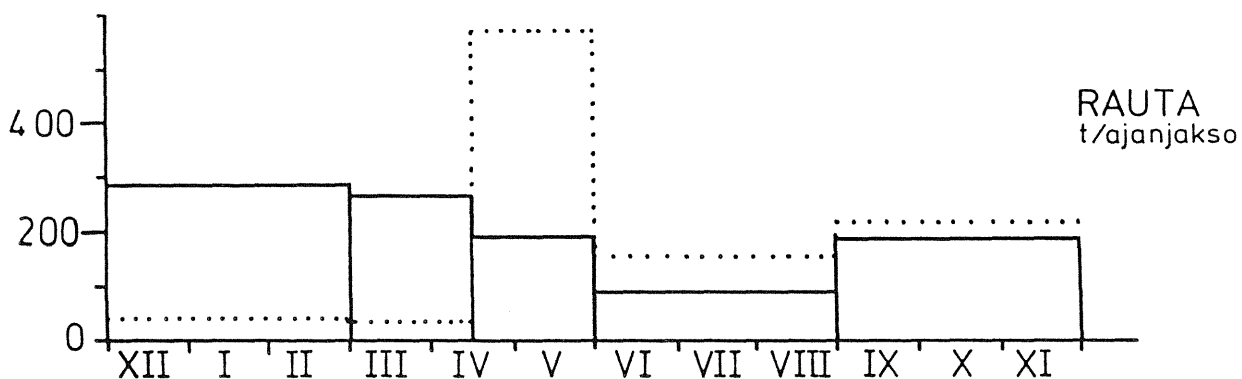
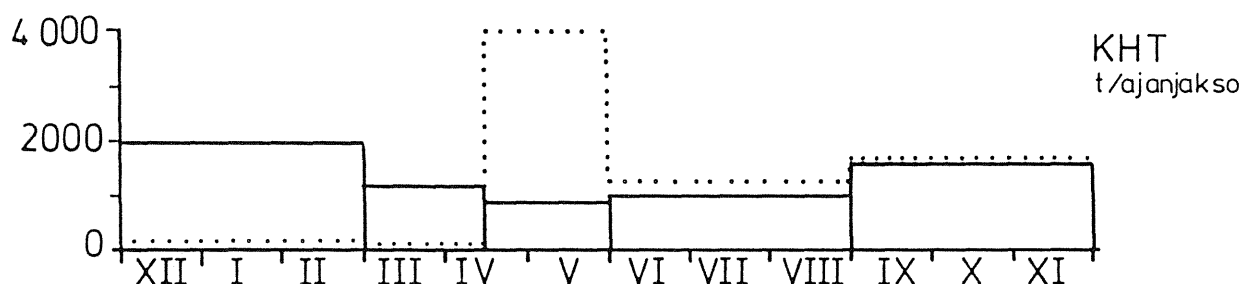
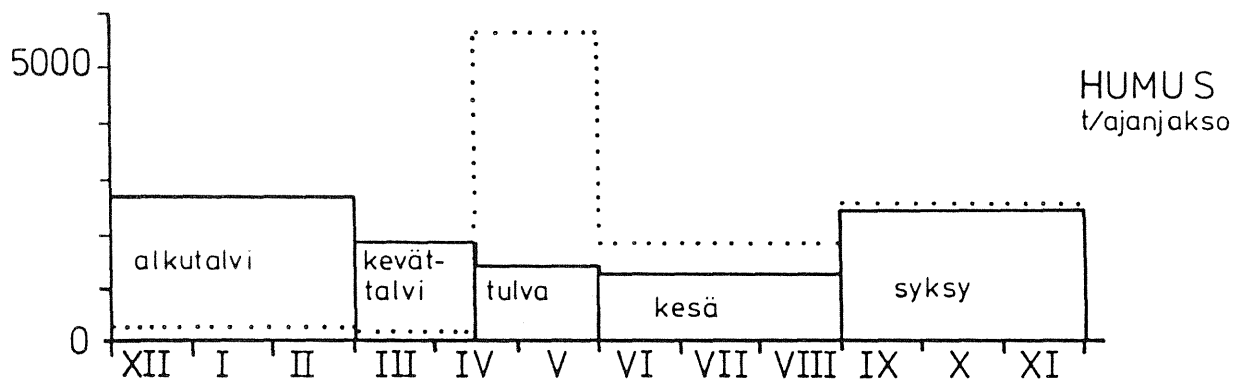
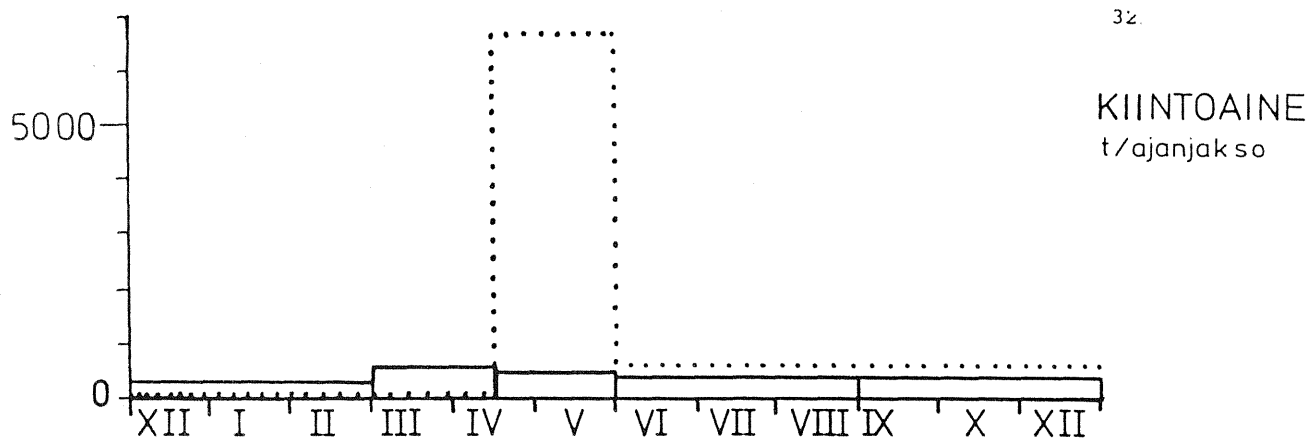
	ULJUA 1975-76 %	ULJUA 1976-77 %	ULJUA (PERTTUNEN 1979) 1975 %	HAUTAPERÄ (KILPINEN 1979) 1976-78 %
Kiintoaine	-57	-46	-75	-76
Humus	-21	+15	-	-
KHT	-22	-1	-7	-27
Kok.N	-25	-10	-15	-38
NO ₃ -N	-7	-25	-	-
NH ₃ -N	-1	+21	-	-
NO ₂ -N	+100	-11	-	-
ΣNO ₃ +NH ₃ +NO ₂	-4	-5	-	-
Kok.P	-44	-11	-44	-55
PO ₄ -P	-53	-15	-55	-
Rauta	-14	-7	-30	-78

Uljuan tutkimukset jaksolta 1975-76 perustuvat 20 havaintokertaan, joista 4 on suoritettu kevättulvan aikana. PERTTUSEN (1979) laskelmat perustuvat kiintoaineen, kokonaisravinteiden, KHT:n ja raudan osalta selvästi laajempaan aineistoon. Uljuan tutkimusjakso 1976-77 sisältää 23 havaintokertaa, joista 10 on suoritettu kevättulvan aikana. KILPISEN (1979) aineisto on tulvakauden osalta liian harva yksiselitteisten johtopäätösten tekemistä varten.

Vuositasolla laskettuna Uljuan altaaseen näyttää pidättyvän eniten kiintoainetta. Humuksen ja mineraalitypen osalta ei selvää muutosta ole osoitettavissa. On kuitenkin huomiotava, että pääosa ainevirtaamien vähenemisestä johtuu kevättulvan tuomien ainemäärien pidätymisestä, millä tapahtumalla on varsin lyhytaikainen vaikutus vesistössä.

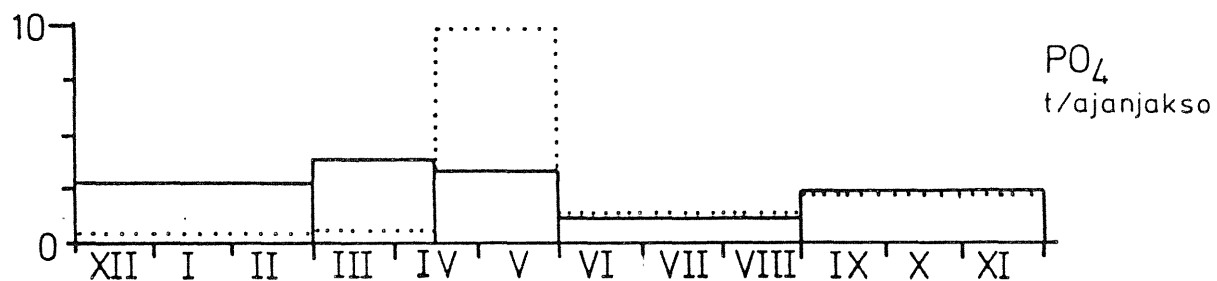
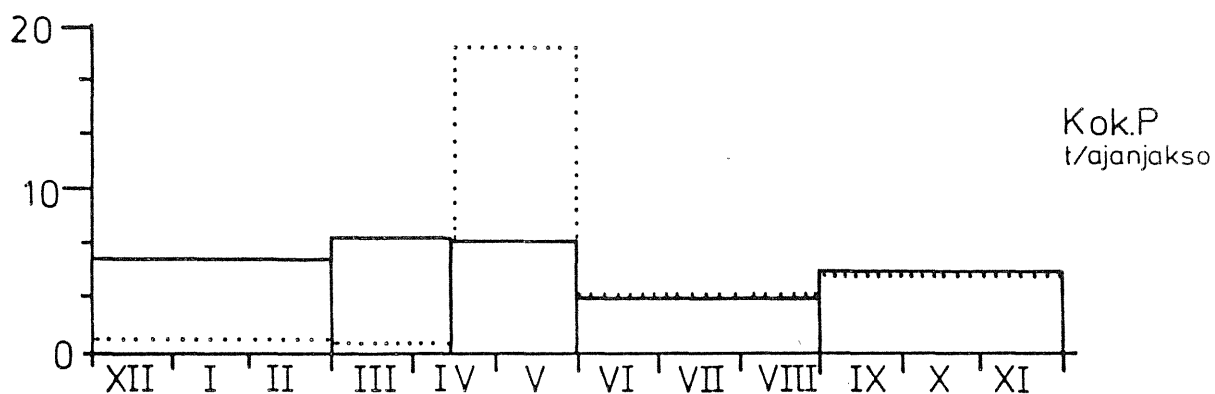
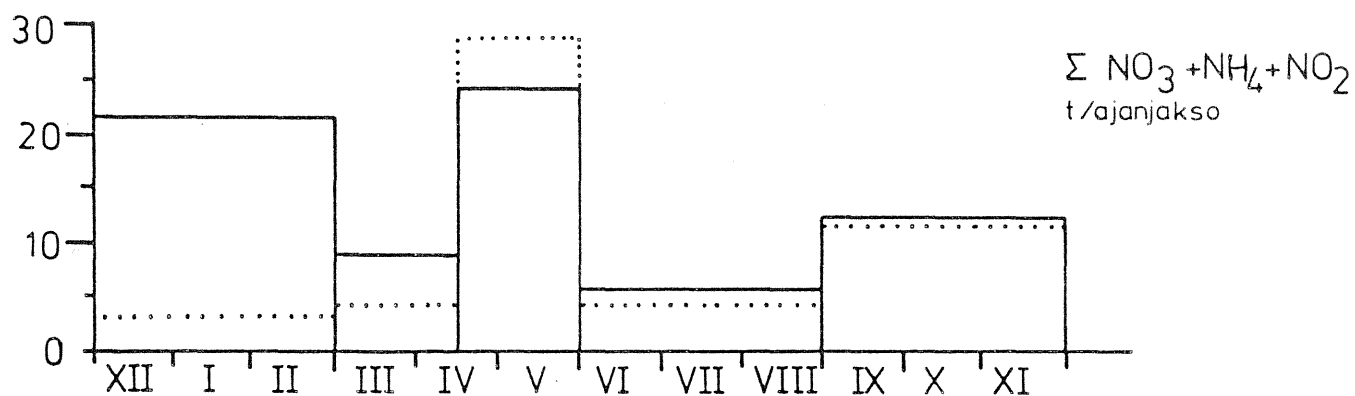
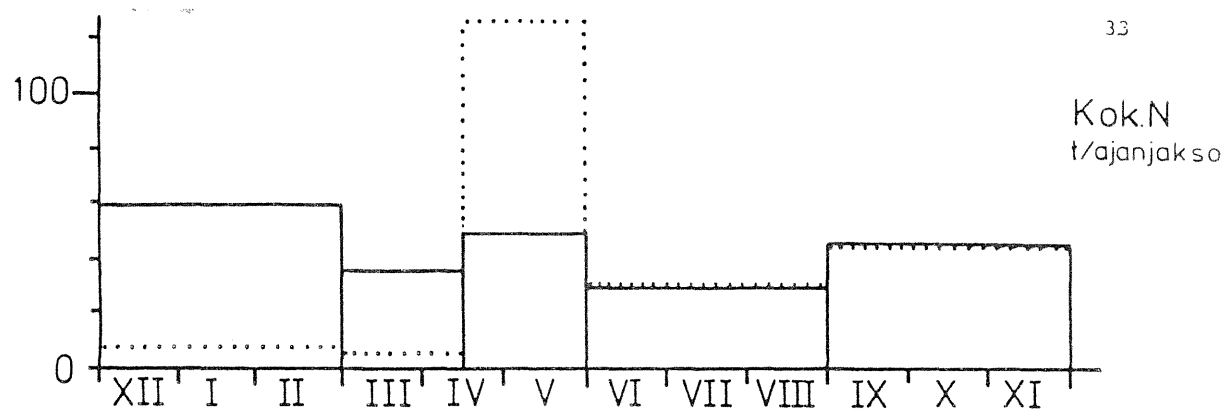
Altaan säännöstelyllä leikataan osa tulvahuipusta pois ja näin varastoitu vesimäärä juoksutetaan talvella. Tästä seuraa luonnollisesti se, että talven ainevirtaamat kasvavat. Tapahtumaa voimistaa happiminimin aikana vedessä tapahtuva ainemäärän kasvu. Tämä voidaan selvästi nähdä kuvista 20 ja 21, jotka kuvaavat ainevirtaamien muuttumista Uljuan altaan vaikutuksesta eri vuodenaikoina.

Kesäkuukausina on ainevirtaamissa yleisesti vähenevä tendenssi, mutta mineraalitypen kohdalla tapahtuu ainevirtaaman lisäämistä, joka johtuu siitä, että altaaseen padottava tulvavesi sisältää enemmän mineraalityppeä kuin kesäaikana altaaseen tuleva vesi.



..... TULEVA
——— LÄHTEVÄ

KUVA 20. AINEVIRTAAMIEN (t/ajanjakso) MUUTTUMINEN VUODEN ERI AIKOINA ULJUAN ALTAAN VAIKUTUKSESTA. KESKIMÄÄRAISET AINEVIRTAAMAT ULJUAAN TULEVASSA JA ULJUASTA LÄHTEVÄSSÄ VEDESSÄ V. 1975-1979 (aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).



..... TULEVA
——— LÄHTEVÄ

KUVA 21. AINEVIRTAAMIEN (t/ajanjakso) MUUTTUMINEN VUODEN ERI AIKONA ULJUAN ALTAAN VAIKUTUKSESTA. KESKIMÄÄRÄISET AINEVIRTAAMAT ULJUAAN TULEVASSA JA ULJUASTA LÄHTEVÄSSÄ VEDESSÄ V. 1975-1979 (aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).

11. LEUVAN ALTAAN VAIKUTUS

11.1 Yleistä

Altaan vaikutuksia tutkittaessa on tärkeä pitää erillään vaikutus pitoisuusarvoihin, jotka ilmentävät veden laatua ja vaikutus ainevirtaamiin, jotka kuvaavat altaan aine-taseita eli absoluuttista vaikutusta altaan läpi kulkevan veden ainemäärien vähentäjänä tai lisääjänä. Tässä ennusteessa pidetään edellistä muuttujaa tärkeämpänä, sillä juuri veden laatu on se, joka suoraan vaikuttaa veden eliöstön viihtyvyyteen ja veden käyttö-ominaisuuksiin.

11.2 Altaan vaikutus eri kehitysvaiheissa

Ensimmäisenä vaiheena tekoaltaan kehittämisessä voidaan pitää työnaikaista tilannetta, jota voidaan kutsua rakentamisvaiheeksi. Tähänastisissa tutkimuksissa on voitu todeta tekojärviemme tilan ja veden laadun paranevan patoamisen alkuvuosina, erityisesti ensimmäisen ja toisen vuoden aikana tai jopa viidenteen vuoteen saakka (HEINONEN & AIRAKSINEN 1974, VOGT 1976, 1978, HEINONEN 1981). Tämän jälkeen tilan suotuisa kehittyminen näyttää hidastuvan tai peittyvän vuotuisten sää- ja säännöstelyvaihteluiden aiheuttamien muutosten alle. VOGTin (1976) mukaan tämä johtuu siitä, että patoamisen alkuvaiheessa hajoaa altaaseen joutunut elävä terrestinen orgaaninen aines nopeasti. Voidaan puhua eräänlaisesta "biologisesta pommista", joka räjähtää, ja 1 - 2 vuoden kuluttua tilanne altaassa tasaantuu. Orgaanista ainetta on edelleen runsaasti tarjolla pieneliöstölle, mutta se on vaikeammin hajoavaa ja niinpä allas joutuu hitaiden ekosysteemiä muokkaavien voimien vaikutusalueeksi. Tätä tekojärvien tilan kehitysvaihetta on kutsuttu eroosiovaiheeksi (VOGT 1976). Turvepohjaisissa tekojärvissä kehittyminen on niin hidasta, että tämä vaihe tulee jatkumaan vuosikymmeniä, ehkä jopa vuosisatoja. Eroosiovaiheen jälkeen tekojärvet saavuttanevat eräänlaisen tasapainovaiheen ja tällöin altaat vastannevat ominaisuuksiltaan pitkään säännösteltyjä luonnonjärviä. VOGTin (1978) mukaan tekojärvet ovat toimineet ekosysteeminä tähän saakka yllättävän hyvin.

Uljuan altaan rakentamisvaihe aiheutti voimakkaan samennuksen vesistössä. Leuvan allas-alueella työnaikainen samennus on mahdollista estää työn huolellisella suunnittelulla.

Patoamisen alkuvaiheessa veden laatuun vaikuttaa se, minkä verran turvetta nousee pinnalle. Uljuassa turvetta on päässyt nousemaan ja patoamisen alkuvaihe voidaan eräiden laatumuuttujien osalta havaita. Pitkämön altaassa, jossa turvepohjaa ei ole lainkaan ja jossa vesien vaihtuvuus on suuri, ei patoamisen alkuvaihe tule selvästi esille. Ensimmäinen vuosi on siellä ollut kuitenkin heikoin. Sama havainto voidaan tehdä Hautaperässä; ensimmäinen vuosi muodostaa jakson, jota on arvioitava erillisenä.

Rakenteellisten piirteiden perusteella Leuvan altaan kehittyminen muistuttaa Pitkämön ja Hautaperän altailla todettua tilannetta. Tilanteen muuttuminen alkuvuosina ei ole voimakas.

11.3 Talven happitilanne

11.3.1 Happitilanteeseen vaikuttavat tekijät

Talvella jää estää hapen liukenemisen ilmaista veteen. Altaan happitilanteeseen vaikuttaa se, kuinka kauan ja miten suurta happivarastoa altaan pohja kuluttaa. Edellistä kuvaa altaan viipymä ja jälkimmäistä keskisyvyys. Altaan pohjasedimentin laadulla on myös jonkin asteinen vaikutus. KENTTAMIES (1980) on todennut, että eräs tärkeimmistä veden laadun selittäjistä tekoaltaassa on allaspohjan laatu.

PERTTUNEN (1979) on laatinut tekoaltaiden happiennusteita varten yleiset käyrät, joiden avulla voidaan arvioida altaiden happitilanteiden kehittymistä erilaisissa tasapainotilanteissa. Leuvan altaaseen sovelletut käyrät on esitetty kuvissa 22 ja 23.

Kuvaa 22 voidaan käyttää alkutalven minimiehtojen tarkasteluun. Kuvasta ilmenee, että Leuvan allas menisi hapettomaksi 70 vuorokauden kuluttua jäätymisestä, jos altaaseen ei tulisi vettä.

Kuvasta 23 voidaan lukea vakiotulovirtaaman vaikutusta altaan happitilanteeseen. Altaan happitilanne lähenee arvoa, johon vaikuttaa lähinnä virtaaman ja happea kuluttavan pinta-alan suhde ja tulovirtaaman happipitoisuus. Kuvaan on piirretty seuraava esimerkki: jos tulovirtaama on $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ja vedenpinnan (jään alapinta) korkeus on 62.50 ja tulevan veden happipitoisuus on $7 \text{ mgO}_2/\text{l}$, niin altaan happipitoisuus lähestyy arvoa $4,8 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Mikäli altaan vedenkorkeus on laskemassa samalla, niin happitilanne lähestyy korkeampaa arvoa. Kuvan perusteella saatuja arvoja voidaan pitää minimiarvoina.

Talven happitilannetta voidaan parantaa vesien ilmastamisella. Tämä voidaan suorittaa hapetusportaan avulla. Kalajoella on suoritettu ilmastuskokeita ja tulokset ovat lupaavia (LAKSO 1979). Veden happipitoisuutta on saatu hapetusportaan avulla nousemaan $6 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (ks. kuva 24).

11.3.2 Laskentaperusteet

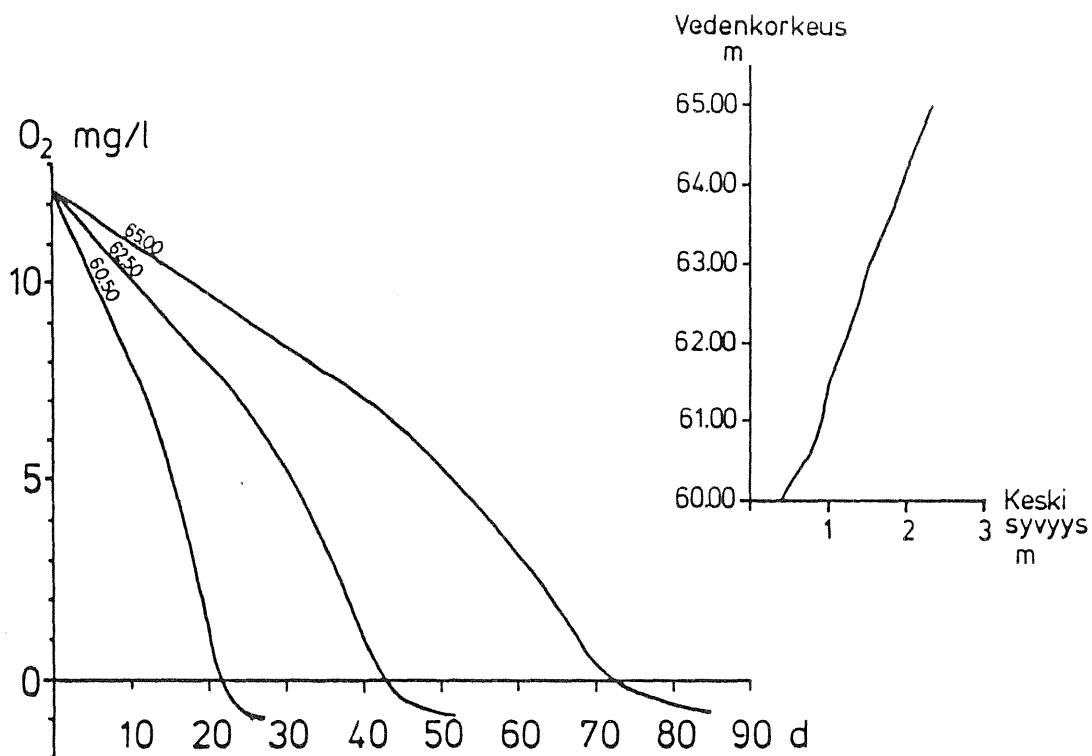
Kuten edellä on esitetty, Leuvan tulovirtaama koostuu pääasiassa Uljuasta ja Lamujoesta tulleista vesistä. Uljuasta tulevan veden määrä ja laatu on otettu aikaisemmista laskelmista ja negatiiviset hapet on otettu 0:ksi, koska on oletettu, että ilmastuminen Uljuan alapuolella poistaa vajauksia. Tämä on perusteltua, koska Oulun vesipiirin vesitoimiston tutkimuksissa ei Uljuasta kevättalvella lähtevässä vedessä ole todettu väli-töntä hapenkulutusta. Kortteisen allas aiheuttaa Lamujoen vedessä happivajauksen, joka tuntuu aina Leuvan tuloveteen saakka. Samanaikaisesti Uljuan tulovedestä ja Lamujoen vedestä tehtyjen havaintojen alenemaksi on saatu joulukuussa $1 \text{ mgO}_2/\text{l}$, tammi-helmikuussa $1,6 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ja maaliskuussa $2,6 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Leuvan altaan säännöstelyksi on otettu allassuunnitelmassa esitetty juoksutusvaihtoehto, jossa vedenkorkeuden alenemat ovat seuraavat:

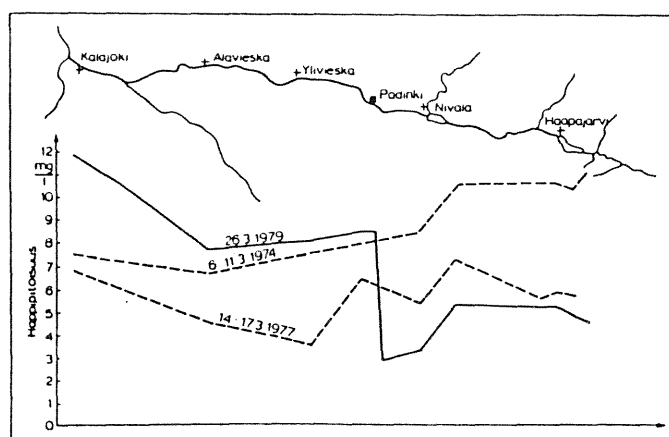
1.12.	65.00
1.3.	63.00
1.4.	61.00
1.5.	61.00
20.5.	65.00

Tässä ennusteessa selvitetään hapetusportaan vaikutusta Leuvan altaan happitilanteeseen. Edellä esitettyyn tutkimukseen nojautuen oletetaan, että hapetusportaalla voidaan nostaa veden happipitoisuutta $6 \text{ mgO}_2/\text{l}$ siten, että suurin pitoisuus on $12 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

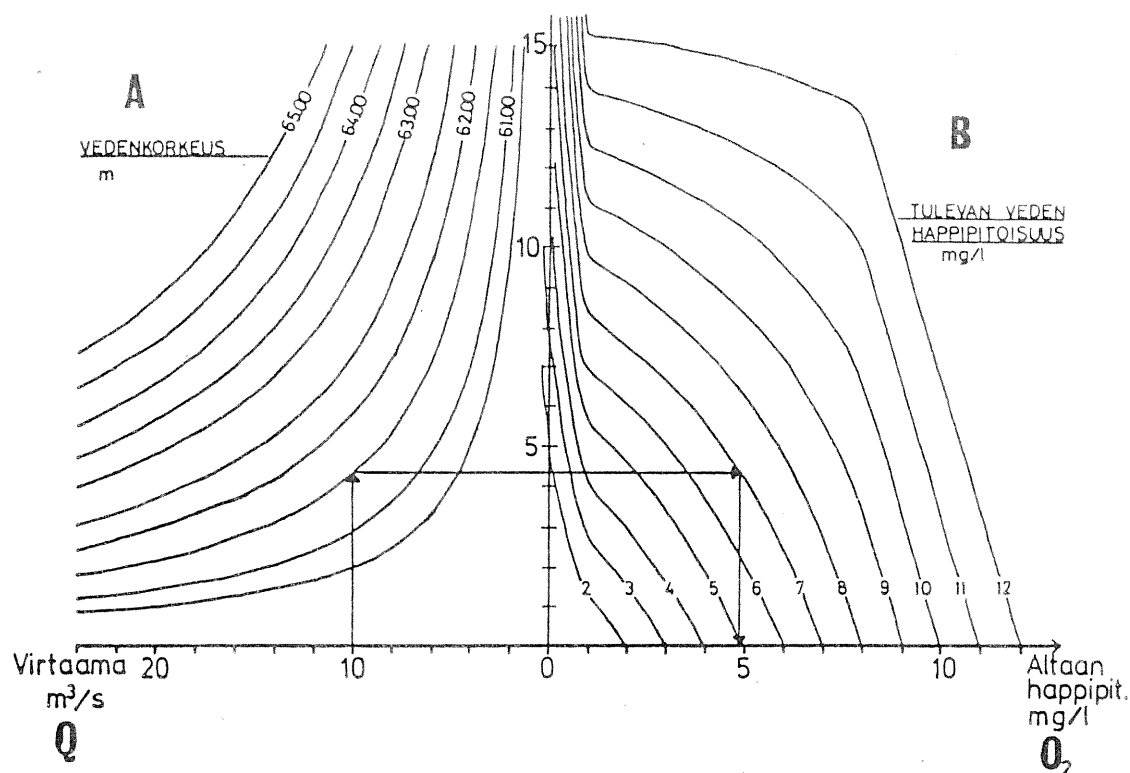
Kuvien 23 ja 24 perusteella laskettuna Uljuan olemassaolon aikana happitilanteen kannalta kriittisimmät jaksot ovat olleet talvet 1973-74 ja 1978-79, edellinen aikaisen jäätymisen ja jälkimmäinen pienten tulovirtaamien vuoksi. Seuraavassa valitaan nämä minimivuodet tarkastelun kohteeksi.



KUVA 23. HAPEN VÄHENEMINEN TALVELLA VEDENKORKEUDEN JA KESKISYVYYDEN SEKÄ AJAN FUNKTIONA LEUVAN ALTAASSA, KUN ALTAASEEN EI TULE VETÄÄ.



KUVA 24. KALAJOEN VEDEN HAPPIPITOISUUDEN ARVOJA MAALISKUUSSA. VUOSI 1974 VASTAA TILANNETTA ENNEN HAUTAPERÄNJÄRVEN RAKENTAMISTA. VUOSI 1977 VASTAA TILANNETTA JÄRVEN RAKENTAMISEN JÄLKEEN. VUOSI 1979 VASTAA TILANNETTA, KUN PADINGIN ILMASTUSPATO ON KÄYTÖSSÄ (LAKSO 1979).



KUVA 24. LEUVAN ALTAAN TALVEN HAPPIPITOISUUDEN MÄÄRITTÄMINEN VEDENKORKEUDEN, VIRTAAMAN JA TULEVAN VEDEN HAPPIPITOISUUDEN AVULLA, KUN TULO- JA MENOVIRTAAMAT OVAT YHTÄ SUURET.

11.3.3 Happitilanne ilman lisätoimenpiteitä

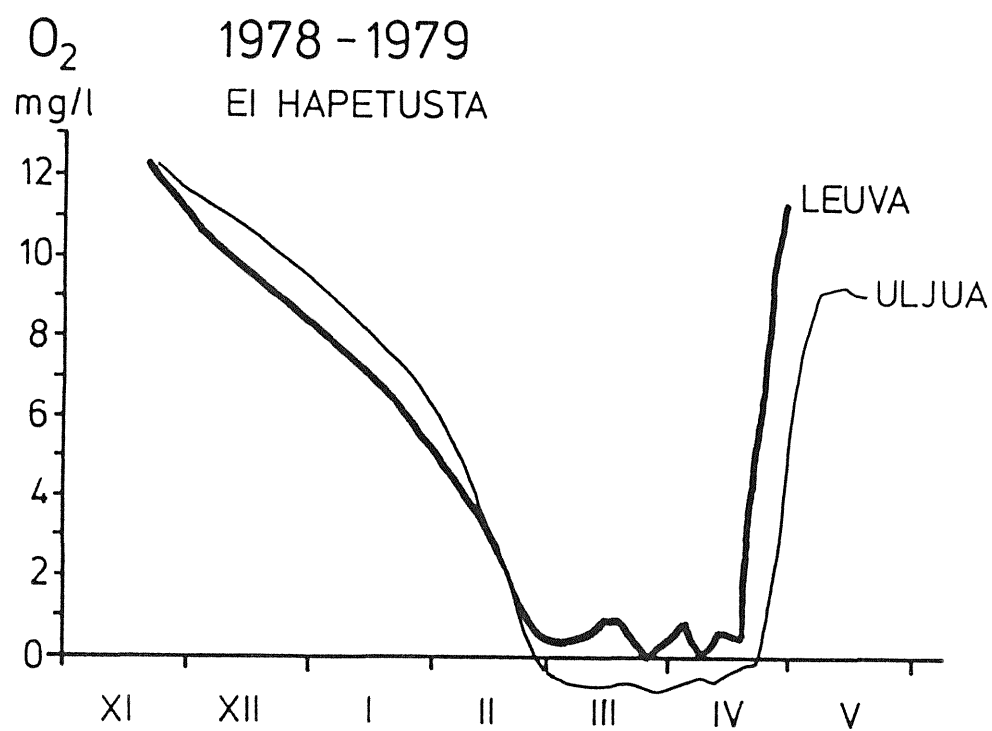
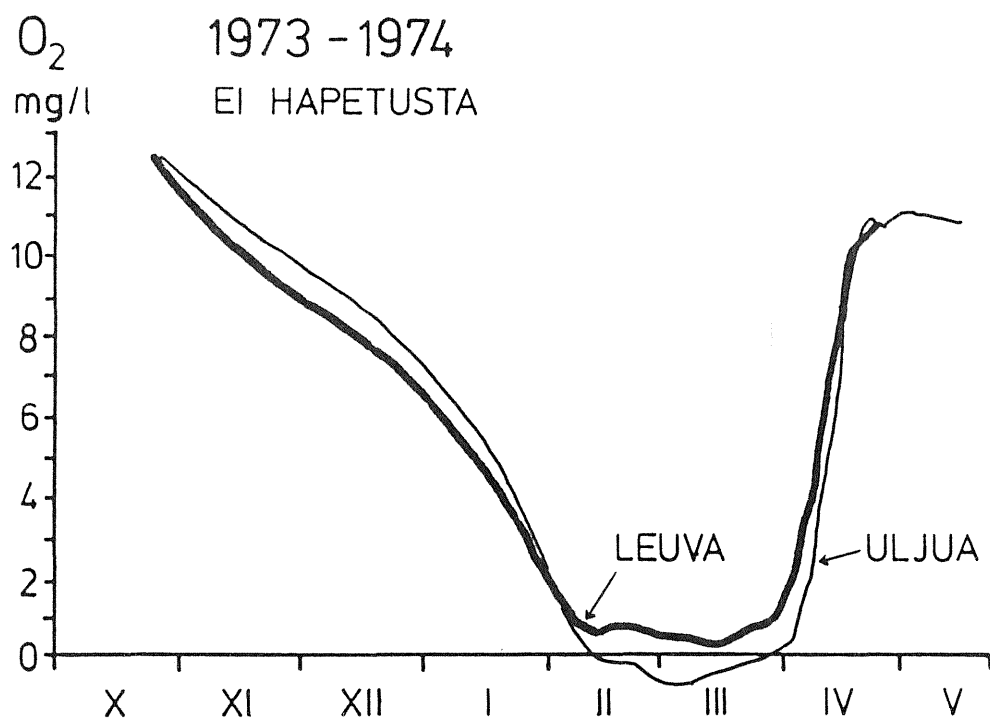
Kuvassa 25 on esitetty Uljuan ja Leuvan happitilanne ilman tilannetta parantavia lisätoimenpiteitä. Lamujoen säännöstely on oletettu hoidettavan siten, että altaiden netto-tilavuus $378,5 \text{ d km}^3/\text{s}$ juoksutetaan tasaisena $3 \text{ m}^3/\text{s}$ juoksutuksena. Juoksutusvaihtoehto on happitilanteen kannalta suhteellisen epäedullinen, sillä molempina tarkasteluvuosina altaat tyhjenivät n. 1 kk liian aikaisin. Leuvan happitilanteen määrää pääasiassa Uljuasta tulevan veden happipitoisuus. Lamujoen tuoma happimäärä kompensoi lähes kokonaan altaan aiheuttaman hapenkulutuksen.

Alkutaalven aikana happitilanteeseen vaikuttaa altaan oman happivaraston alenema. Mitä pitemmälle talvi kuluu, sitä määräävämmäksi tulee altaaseen tuleva vesi. Happiminimin aikana riittää Lamujoen tuoma happi pitämään Leuvasta lähtevän veden happipitoisuuden tasolla $0 - 1 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Tätä ei voida pitää tyydyttävänä tuloksena. Tilanteen parantamiseksi tulevat kysymykseen lähinnä seuraavat toimenpiteet.

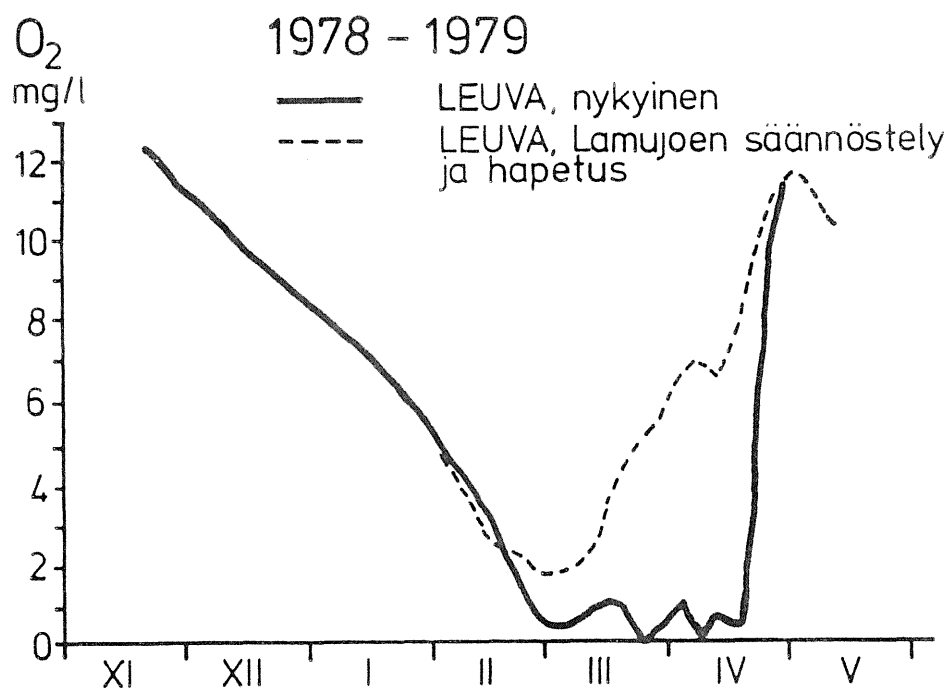
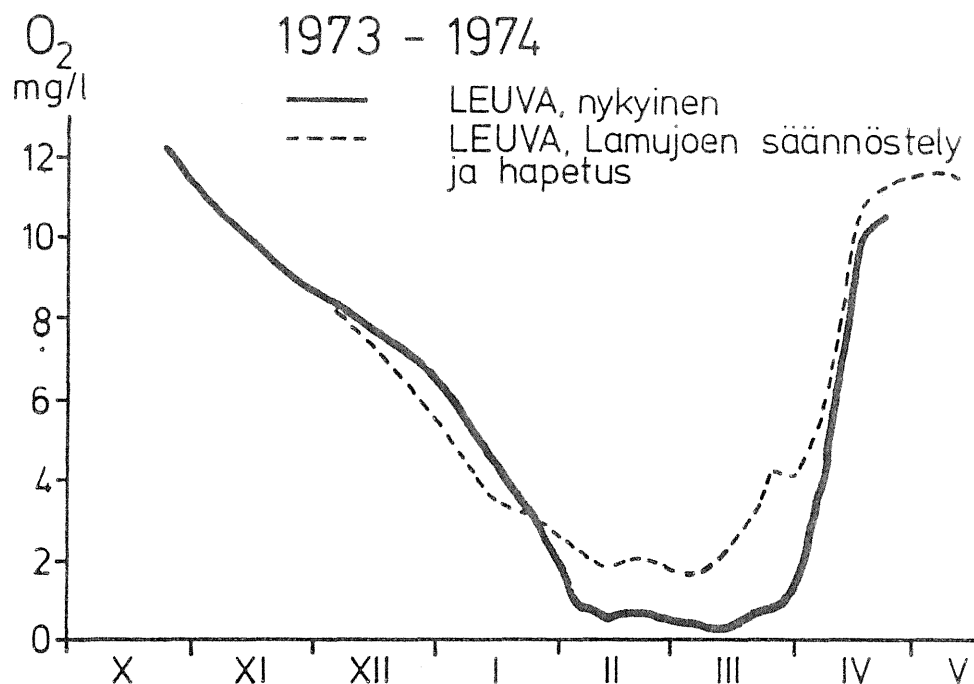
- Lamujoen altaiden tyhjennys siten, että ne lisäävät hauekkaan veden osuutta happiminimin aikana.
- Lamujoen vesien hapettaminen hapetusportaalla.
- Leuvan altaaseen tulevan veden hapettaminen täyttökanavassa.

11.3.4 Happitilanne Lamujoen vesien säännöstelyn ja hapetuksen jälkeen

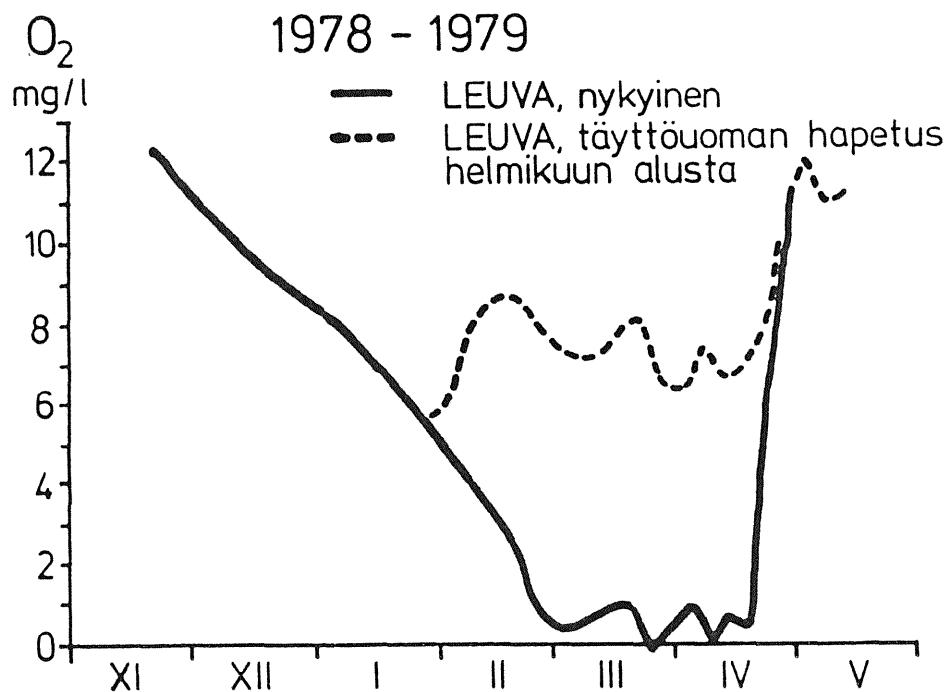
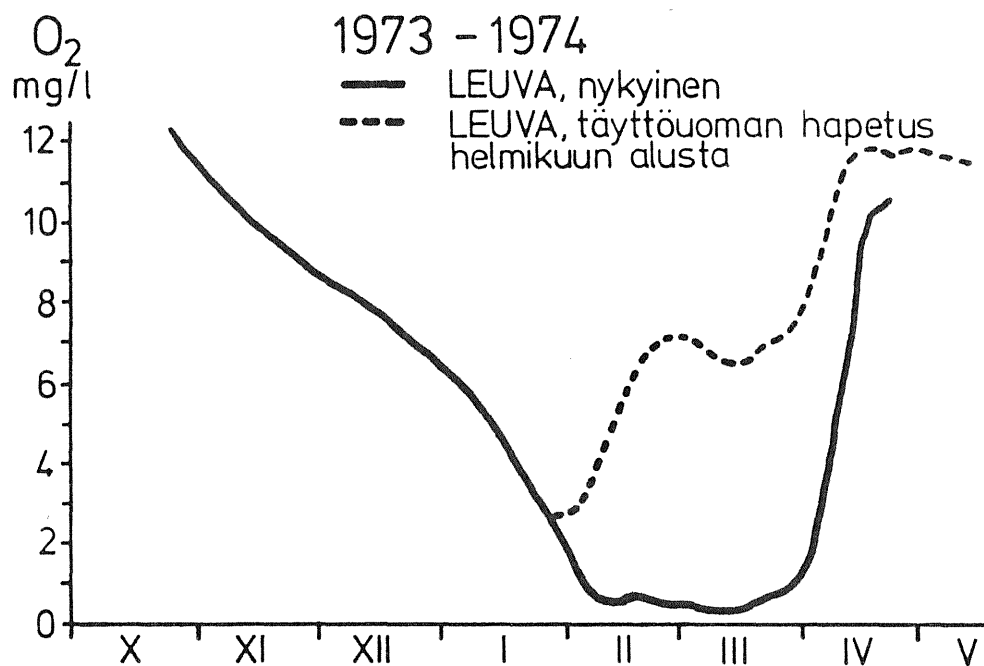
Koska Lamujoen säännöstelyn toteutuessa hapetusportaan laittaminen samaan yhteyteen olisi verrattain pieni toimenpide, tutkitaan nämä vaihtoehdot yhdessä (kuva 26).



KUVA 25. LEUVAN HAPPIENNUSTE TALVIEN 1973-74 JA 1978-79 HYDROLOGISTEN TIETOJEN PERUSTEELLA.
EI HAPETILANNETTA PARANTAVIA JÄRJESTELYJÄ.



KUVA 26. LEUVAN HAPPIENNUSTE TALVIEN 1973-74 JA 1978-79 HYDROLOGISTEN TIETOJEN PERUSTEELLA. LAMUJOEN SÄÄNNÖSTELYLLÄ TARKOITETAAN SITÄ, ETTÄ JOEN VESIÄ ON PIDÄTETTY KOLME ENSIMMÄISTÄ TALVIKUUKAUTTA.



KUVA 27. LEUVAN HAPPIENNUSTE TALVIEN 1973-74 JA 1978-79 HYDROLOGISTEN TIETOJEN PERUSTEELLA.

Leuvan altaan happitilanteen korjaaminen edellyttäisi erilaisten lamujen säännöstelyvaihtoehtojen tutkimisen. Tässä selvitetään vaihtoehtoa, jossa altaiden tyhjentäminen aloitetaan 3 kk:n kuluttua jäätymisestä ja juoksutus on $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tarkempi säännöstelyohje, jossa altaiden juoksutus on sidottu happitilanteeseen ja varastotilan kehitykseen, voisi tuottaa parempia tuloksia, mutta koska Leuvan altaan säännöstelyn hoidosta ei ole tarkempia tietoja, ei tällaisia yhteyksiä voida tässä yhteydessä määritellä.

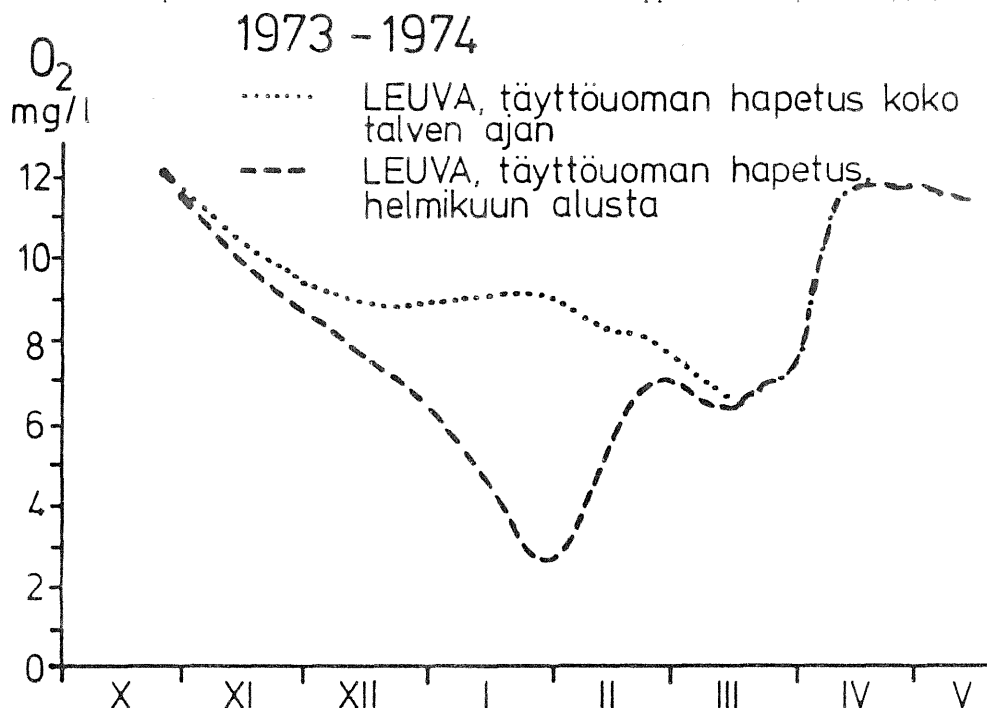
Lamujen järjestelyillä talven happitilanne tulee vähän autetuksi, mutta tilanne on edelleen huonompi kuin esim. Hautaperässä. Happiminimi on luokkaa $2 \text{ mgO}_2/\text{l}$, jota ei voida pitää tyydyttävänä.

11.3.5 Happitilanne täyttöuoman hapetuksen jälkeen

Hapetusporras tarvitsee vähintään 70 cm:n putouskorkeuden, joka ainakin Leuvan ollessa täynnä aiheuttaisi Uljualla vastaavan energianmenetyksen. Tämän vuoksi olisi edullista suunnitella sellainen hapetuspato, jota voidaan käyttää kun happitilanne sitä vaatii. Suunnitelmassa esitetyn säännöstelyvaihtoehdon mukaan Leuvan altaan Vesikorkeus olisi helmikuun alussa n. 63.60, josta alkaen hapetuspadon vaikutus Uljuan putouskorkeuteen olisi varsin vähäinen. Tämän johdosta tutkitaan tässä vaihtoehto, että hapetuspato pantaisiin toimintaan helmikuun alusta.

Edellä esitetty järjestely antaa varsin tyydyttävän tilanteen talvikaudella 1978-79 (kuva 27). Vuonna 1973 jäätyminen on tapahtunut niin aikaisin, että happitilanne on mennyt huonoksi jo helmikuun alkuun mentäessä, joten hapetus alkaa kyseisen vuoden suhteen liian myöhään. Täyttöuoman hapetus olisi eri vuosina aloitettava eri aikoina riippuen altaan jäätymisestä. On kuitenkin huomattava, että talven 1973-74 tilanne toistuu hyvin harvoin.

Kuvassa 28 on esitetty vuosien 1973-74 tilanne myös siinä tapauksessa, että täyttöuomassa olisi hapetusporras toiminnassa koko talven. Kuva osoittaa, että riittävän aikaisin aloitetulla hapetuksella voidaan Leuvan altaan happitilanne pitää tyydyttävänä.



KUVA 28. LEUVAN HAPPITILANNE, KUN TÄYTTÖUOMASSA ON SUORITETTU KOKO TALVEN AJAN HAPETUSTA JA KUN HAPETUS ON ALOITETTU VASTA HELMIKUUN ALUSTA.

Laadittaessa lopullista säännöstelyohjetta on huomioitava, että altaan yläpuolisissa varastoissa on säilytettävä sellainen vesimäärä, että Leuvan altaan tulovirtaama on riittävä happitilanteen kannalta. Kuvasta 23 ilmenee, että vaikka veden korkeus olisi Leuvassa lähellä alarajaa, tulovirtaaman pienentyessä alle $2 - 3 \text{ m}^3/\text{s}$ happitilanne altaassa muodostuu varsin nopeasti epästabiiliksi ja on vaara, että tilanne altaassa menee huonoksi, vaikka tulovirtaaman happitilanne olisi hyvä ilmastuksen ansiosta.

11.4 Kesän happitilanne

Uljuan allas vähentää myös kesäaikana veden happipitoisuutta. Happitilanne on kuitenkin sekoittumisen ja ilmastumisen ansiosta altaassa suhteellisen hyvä ja altaan kohdalla tullut vajuus poistuu lähtevästä vedestä verrattain nopeasti.

Kesän happitilanne matalassa Leuvan altaassa ei muodostu ongelmaksi. Altaan vaikutus veden happipitoisuutta alentavana tekijänä on kesäaikana vähäinen.

11.5 Muut ainepitoisuudet

Tämän työn tärkeimpänä tavoitteena on happitilanteen ennustaminen Leuvan altaassa ja siitä lähtevässä vedessä. Veden muita aineosasia tarkastellaan seuraavassa suppeammin lähinnä Uljuan altaasta saatujen kokemusten valossa. Uljuan altaan vaikutusta veden ainepitoisuusarvoihin on edellä selvitetty. Leuvan altaassa voidaan muutoksien suunnat ennakoita samaksi kuin Uljuassa. Leuvassa vesien viipymä on kuitenkin kesällä ja talvella oleellisesti pienempi kuin Uljuassa ja tästä johtuen muutos ei "ehdi" tapahtua yhtä pitkälle.

Talvitilanteessa Uljuan vaikutus tuntuu selvästi fosfori- ja humuspitoisuuden lisääntymisenä ja veden pH:n alenemisena. Nämä muutokset liittyvät happitilanteen heikkenemiseen.

Mikäli tilannetta parantavia toimenpiteitä ei suoriteta, muodostuu kevättalven happitilanne Leuvan altaassa heikoksi ja tämä heijastuu myös muissa ainepitoisuuksissa. Hapettomuudesta johtuen veden väriarvot sekä fosfori- ja rautapitoisuus entisestäänkin lisääntyvät. Vesien nopean vaihtumisen vuoksi muutos ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin Uljuan altaassa. Joka tapauksessa veden laatu olisi myös muilta osin parempi, mikäli happitilanne saataisiin pysymään altaassa tyydyttävänä.

Kesätilanteessa Uljua lisää mineraalityypen pitoisuutta ja vähentää kiintoaineen määrää. Veden pH alenee jonkin verran, mutta muilta osin pitoisuusmuutokset Uljuan kohdalla eivät ole suuria. Uljuassa vedet viipyvät yli koko kesäkauden, mutta Leuvassa viipymä on loppukesällä, jolloin se on suurimmillaan, vain puolen kuukauden luokkaa. Uljuassa veden laatu muutos johtuu osittain siitä, että tulvan aikana tullutta vettä, jonka laatu on "kesävetä" heikompi, juoksutetaan kesäaikana. Koska Uljua on muutoksen jo aiheuttanut, ei Leuvan allas merkittävästi syvennä tilannetta. Lyhyestä viipymästä johtuen ei Leuvan altaassa tapahdu myöskään huomattavan paljon kiintoainepitoisuuden alenemista, joka on vesistön tilan kannalta positiivinen ilmiö.

11.6 Ainevirtaamat

Uljuan allas lisää talviajan virtaamaa Siikajoen alaosalla 4 - 5 -kertaiseksi. Samalla kyseisen ajanjakson humus-, rauta- ja ravinnevirtaamat lisääntyvät 6 - 8 -kertaiseksi. Kesällä on selvä ainemäärämuutos havaittavissa kiintoaineen vähenemisenä ja mineraalityypen lisääntymisenä. Hapen määrä vähenee voimakkaasti talvella, mutta jossain määrin myös kesällä. Muutoksia selittää altaan viipymän aiheuttama ainevirtaamien ajallinen siirtyminen. Vuositasolla ei allas näytä selvästi lisäävän ainevirtaamaa minkään tutkitun muuttujan suhteen.

Leuvan altaan avulla leikataan Siikajoen kevättulvahuipusta pois vesimäärä, jonka suuruus on n. 28 milj.m³. Tämä vesimäärä juoksutetaan altaasta marras-huhtikuun aikana, jonka vuoksi kyseisen ajanjakson virtaamat lisääntyvät keskimääräisesti 1,5 - 1,8 m³/s (11 - 13 %).

Leuvan altaassa ainemääräsiirrokset tapahtuvat samansuuntaisesti kuin Uljuassa, mutta huomattavasti pienemmässä mittakaavassa. Talvella ainevirtaamat happea lukuunottamatta lisääntyvät n. 10 - 15 %. Tulvaveden juoksutuksen siirtyminen keskikesää kohden ei huomattavasti muuta ainevirtaamia, koska muutos peittyy Uljuan aiheuttaman muutoksen alle.

11.7 Leväkasvillisuus

Uljuan altaan on todettu muuttavan veden ravinnepitoisuuksia levästölle sopivampaan suhteeseen ja tätä kautta allas lisää levänkasvupotentiaalia vesistössä. Uljuan vesi sisältää riittävästi ravinteita voimakkaan leväkukinnan syntymiselle. Kuitenkin voimakas humusväritteisyys aiheuttaa perustuotantoa inhiboivan tekijän eikä ravinnetasoa vastaavaa rehevöitynyttä tilannetta ole jatkuvasti havaittavissa.

Leuvan allas ei kesäaikana mainittavasti muokkaa ravinnetasoa levästölle edulliseen suuntaan. Vedessä oleva käyttämätön ravinnepotentiaali mahdollistaa kuitenkin suotuisissa olosuhteissa levästön voimakkaan lisääntymisen. Altaan mataluus on edullinen piirre levästön kehittymistä ajatellen. Syvälle sekoittuminen runsaasti humusta sisältävässä altaassa (huonot valaistusolot) pienentää levästön kasvupotentiaalia. Leuvan altaan viipymä ei kesäaikana ole liian pieni levänkasvua ajatellen; 15 - 25 d:n viipymän omaavassa järvessä voi kehittyä voimakas leväkukinta, mikäli muut olosuhteet sen sallivat. Runsaan humusaineen johdosta ei Leuvan altaassakaan levästö voi tehokkaasti hyödyntää koko ravinnekapasiteettia, jonka altaaseen tuleva vesi tarjoaa.

12. LEUVAN ALTAAN VAIKUTUS SIIKAJOEN ALAOSAN VEDEN LAATUUN

Suurten tekoaltaiden talvenaikainen vaikutus alapuolisen vesistön veden laatua heikentävänä tekijänä lienee kiistattomasti osoitettu. Suomen toiseksi suurimmassa joessa, Kemijoen, on suulle saakka havaittu humuspitoisuuden nousseen joen latvalla sijaitsevien suurten tekojärvien vaikutuksesta (NENONEN 1978).

Siikajoen alaosassa tavataan Uljuan altaan vaikutuksesta jatkuvasti toistuva kevättaivalven happiminimi, jolloin veden laatu on muutenkin heikentynyt. Veden laadun kesäaikaista muuttumista on pidetty vähäisenä ja myös tutkimustulokset viittaavat tähän. Viime vuosina on kuitenkin Siikajoen alaosalla tavattu loppukesällä kaloissa pahaa makua ja tämä muutos on yhdistetty Uljuan altaan vaikutukseen.

Uljuan aiheuttama kevättaivalven happivajaus ilmenee selvästi koko joen alaosalla, joskin tilanne joen suuta kohden paranee jonkin verran. Mikäli Leuvan altaan happitilanteen parantamiseksi ei tehdä mitään, syventää allas kevättaivalven happiminimiä joen alaosalla, ja altaan vaikutus voidaan havaita joen suulla saakka. Altaan hapettomuuteen liittyen veden laatu muutenkin heikkenee. Mikäli happikato Leuvan altaassa estetään, ei veden laatu altaan vaikutuksesta selvästi muutu. Mikäli Leuvan täyttökanaavaan ja voimalaitoksen yhteyteen asetetaan hapetusportaat ja ne toimivat moitteettomasti, on happitilanne Siikajoen alajuoksulla nykyistä parempi.

Kesätilanne Siikajoen alajuoksulla muodostaa ongelmakentän, jossa Leuvan altaan vaikutusta ei voitane tässä vaiheessa tarkoin eritellä, koska vielä ei ole saatu selville

mekanismia, joka makuvirheet aiheuttaa. Tällä hetkellä näyttää siltä, että makuvirheillä olisi syy-yhteys levästöön. Selvin muutos, jonka Uljua on aiheuttanut levätuotantoon vaikuttavaan veden kemian osalta, on mineraalityypen pitoisuuden nousu kesäkuukausina; tästä johtuen typpi-fosfori-suhde on muuttunut lähemmäksi levätuotannon optimiarvoa. Vedet viipyvät kesäaikana Uljuan altaan alapuolisella jokiosuudella kuitenkin vain muutaman päivän, jolloin virtaavassa ruskeassa vedessä planktisen levästön lisääntyminen on vähäistä ja ravinnepotentiaali jää käyttämättä. Pohjalle kiinnittyvällä levästöllä on mahdollisuus hyödyntää muuttunutta ravinnetilannetta, joten pohjalevästön osuutta asiassa kannattaa selvittää. Kalajoella tehdyt havainnot eivät vahvista ravinteiden osuutta asiassa; Kalajoessa ravinteita on enemmän kuin Siikajoessa ja Kokkolan vesipiirin vesitoimiston tutkimusten mukaan nahkiaisten makuvirheitä ei Kalajoen suulla ole tavattu. Mikäli Siikajoessa tavatut kalojen makuvirheet jollain tavalla liittyvät Uljuasta johtuvaan jokiveden ravinteisuuden muutokseen, ei Leuvan allas tule tilannetta selvästi vahvistamaan, koska altaan vaikutus on tässä suhteessa vähäinen.

Toinen hypoteesi makuvirheiden aiheuttajasta on se, että Uljuan allas kasvattaa levämassaa, joka hajoaa joen alajuoksulla ja aiheuttaa veteen ja kaloihin pahaa makua. Uljuan altaassa tavatut levämäärät ja levälajisto ei kuitenkaan näytä yksiselitteisesti tukevan mainittua hypoteesia. Mikäli tämä hypoteesi pitäisi paikkansa, syventäisi Leuvan allas Siikajoen alajuoksulla todettuja vaikutuksia, koska altaaseen voi kehittyä voimakas leväkasvusto.

Leväkasvu on vesistön luontainen kyky puhdistaa itseään, ja niin kauan kuin se tapahtuu ilman sekundäriseturauksia, se on positiivinen ilmiö. Tehtyjen tutkimusten mukaan levästön "räjähtävää" lisääntymistä voimakkaine sekundäriseturauksineen ei Uljuan altaassa ole tapahtunut; kalojen makuvirheet eivät ole olleet siellä niin tuntuja kuin Siikajoen alajuoksulla. Näyttää siltä, että syy-yhteys joen suualueella todettujen häiriöiden ja Uljuan altaan vaikutuksen välillä on vielä epäselvä. Vasta kun asia on saatu selvitettyä, voidaan Leuvan altaan tulevaa vaikutusta ennakoita.

Vuorokausisäännöstely aiheuttaa suuria hetkellisiä virtaamavaihteluita tekoaltaiden alapuolella. Vesistöä alaspäin siirryttäessä virtaamat tasoittuvat. Vuorokausisäännöstelyn vaikutusta veden laatua muuttavana tekijänä ei ole tutkittu. Siikajoella vuorokausisäännöstely on toteutettu jo Uljuan altaan voimalaitoksella. Leuvan altaan yhteyteen rakennettava voimalaitos siirtää vuorokausisäännöstelyn vaikutuksia jonkin verran joen suualueella kohden. Toisaalta Lamujoen vesien virtaamia tasaava vaikutus poistuu.

13. LEUVAN ALTAAN KOHDALLE JÄÄVÄN VÄHAVETISEN UOMAN VEDEN LAATU

13.1 Vähävetisen uoman kuormitus

Vähävetisen uoman varrella sijaitsevat kuormitustekijät on esitetty taulukossa 3. Veden laadun muuttuminen porrastamattomassa Uljuan vähävetisessä uomassa on esitetty taulukossa 12 ja kuvissa 29 ja 30.

TAULUKKO 12. VEDEN LAATU ULJUAN VÄHÄVETISEN UOMAN YLÄPUOLELLA JA UOMASSA TAPAHTUNUT VEDEN LAATUMUUTOS (UOMAN YLÄ- JA ALAPUOLISTEN HAVAINTOJEN EROTUS) V. 1975 - 1980. KESKIARVOT JA KESKIHAJONNAT (suluissa) ON LASKETTU N. 30 HAVAINNON PERUSTEELLA (aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).

	t °C	O ₂ mg/l	O ₂ %-kyll.	Väri mgPt/l	BHT mg/l	Kok.N mg/l	Mineraali-N mg/l	Kok.P mg/l	PO ₄ -P mg/l
Talvi (XII - IV)									
yläp.	0,2(0,1)	11,1(0,7)	79(5)	177(42)	1,8(1,0)	747(199)	415(161)	86(37)	63(23)
muutos	-	-0,2(1,1)	-1(8)	+21(35)	+0,3(0,9)	+59(179)	+32(108)	-3(30)	-4(24)
Kesä (IV - XI)									
yläp.	11,7(7,0)	9,8(1,8)	91(10)	193(45)	1,6(0,6)	540(13,4)	104(87)	60(16)	25(8)
muutos	-	+0,1(1,0)	+2(12)	+17(25)	+0,1(0,5)	+20(117)	-9 (60)	+8(14)	+6(13)

Uoman vesi sisältää runsaasti humusta. Happitilanne on talvella ja kesällä varsin hyvä. Mineraalityypen ja fosfaatin määrät ovat korkeat ja näiden suhde vähän alle kasviplanktonin optimiarvon. Uoman vedessä tapahtuu talvella värin BHT:n ja typen lisääntymistä; kesällä voidaan havaita myös fosforin kohdalla vähäistä lisääntymistä.

Vuosina 1975 - 1980 alhaisin mitattu talvinen happipitoisuus Siikajoen vanhassa uomassa 4-tien sillan kohdalla on ollut 8,4 mg/l (kuva 29). Yleensä happipitoisuus on ollut tasoa 10 - 12 mg/l. Mitatut havainnot eivät välttämättä osoita millainen tilanne on ollut Vornankosken yläpuolella, mutta vaikuttaa siltä, että uoman nykyistä happitilannetta voidaan luonnehtia hyväksi.

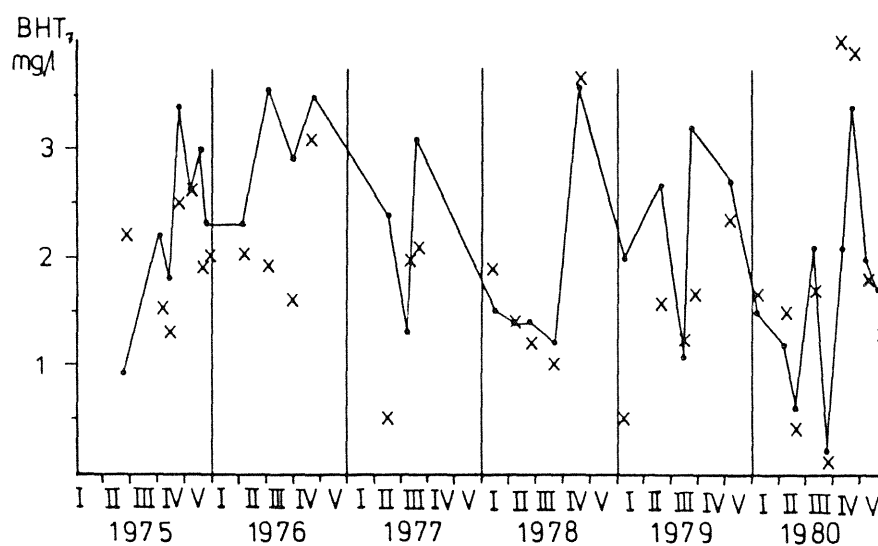
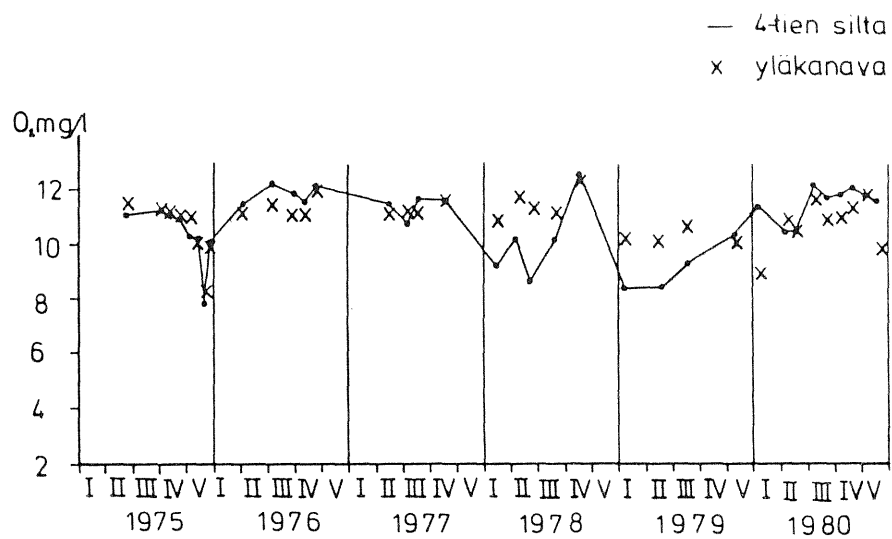
Mineraalityypen pitoisuus on alkukesällä ollut varsin alhainen. Selvää pitoisuuden lisääntymistä ei vähävetisessä uomassa voida osoittaa (kuva 30). Fosfaatin pitoisuus on ollut 20 - 30 mg/l. Etenkin alkukesän aikana typpi - fosfori -suhde on niin alhainen, että typpellä on ilmeisesti merkitystä levätuotantoa rajoittavana tekijänä.

13.2 Kokemuksia muista vähävetisistä uomista

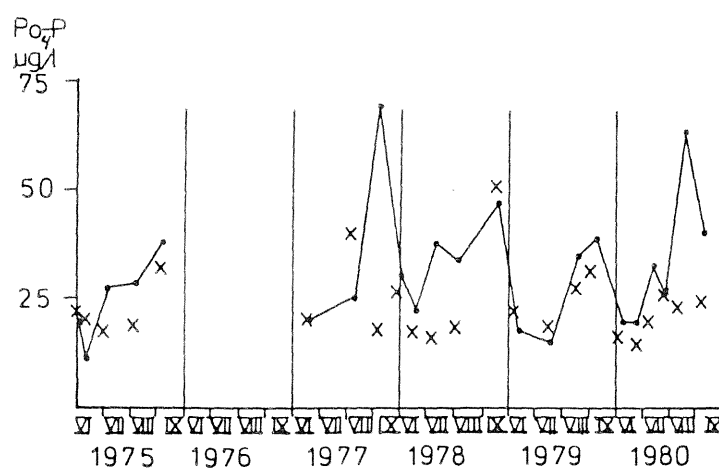
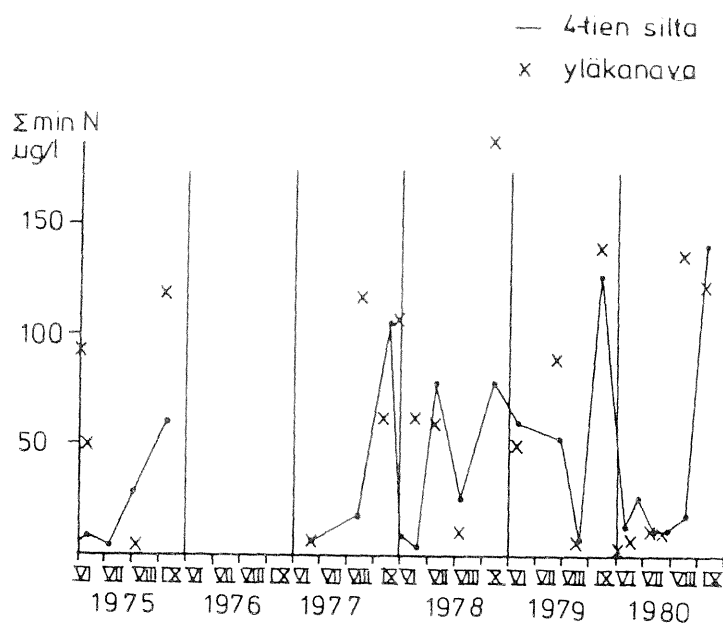
Vähävetisten uomien veden laatua on tutkittu Iijoen Raasakan voimalaitoksen kohdalla, ja Nurmonjoessa sijaitsevan Hirvijärven tekoaltaan kohdalla. Vähävetiseen uoman johdettavan virtaaman suuruus on Raasakassa kesällä 3,5 m³/s ja talvella 1,5 m³/s sekä Hirvijärvellä kesällä 0,1 m³/s ja talvella 0,05 m³/s. Uomat on porrastettu. Raasakan uoman altaiden yhteenlaskettu tilavuus on 3 590 000 m³ ja Hirvijärven uoman 225 000 m³. Raasakassa altaiden viipymä on kesällä n. 10 d ja talvella n. 25 d, Hirvijärvellä vastaavasti n. 25 d ja n. 50 d.

Analyysitulokset osoittavat, että Raasakan vähävetisen uoman veden laatu ei selvästi poikkea yläpuolisen veden laadusta. Raasakan kohdalla tämä voidaan osoittaa myös laskennallisesti. Vähävetiseen uomaan purkautuva fosforikuormitus (YLISAUKKO-OJA 1973) lisää kesäaikana laimennussuhteiden perusteella fosforipitoisuutta 1 ug/l, typpipitoisuutta 5 ug/l ja BHT₇-arvoa 0,02 mg/l. Tällaisia pitoisuuslisäyksiä ei voida analyttisesti osoittaa.

Vähävetisen uoman veden käyttökelpoisuutta on tutkittu Raasakassa (YLISAUKKO-OJA 1973). Vaikka veden laadun muuttumista uomassa ei voitu todeta, alensi veden käyttöarvoa paikoitellen rantaveteen syntyvä leväkasvusto. Esiintymät olivat voimakkaimpia siellä, missä rantaveteen tuli jätevesikuormitusta. Leväkasvun esiintyminen ei kuitenkaan ole säännönmukaista, vaan se on yhteydessä mm. sääolosuhteisiin (lämmin kesä synnyttää levää). Iijoen vesi on suhteellisen vähäravinteista, joka estää voimakkaan leväkasvun vähävetisessä uomassa. Happitilanne on Raasakassa pysynyt kesällä hyvänä, mutta talvella on syvissä kohteissa lähellä pohjaa ollut selvä vajoaus, joskaan happi ei ole loppunut vedestä.



KUVA 29. HAPPIPITOISUUS JA BHT₇-ARVO SIKAJOEN VÄHÄVETISEN UOMAN YLÄPUOLELLA JA ALAOSASSA (4-tien silta) TALVELLA V. 1975 - 1980 (aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).



KUVA 30. MINERAALITYPEN ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$) JA FOSFAATTIFOSFORIN PITOISUUS SIKAJOEN VAHAVETISEN UOMAN YLÄPUOLELLA JA ALAOSASSA (4-tien silta) KESÄLLÄ 1975 - 1980 (aineisto: Oulun vesipiirin vesitoimisto).

Nurmonjoessa veden ravinnepitoisuus on huomattavasti suurempi kuin Iijoen. Nurmonjoen vanhassa uomassa veden laatu ei keskimääräisesti ole huonontunut kesäaikana, kun verrataan uoman ylä- ja alaosaa. Talvella on happitilanne pysynyt tyydyttävänä tähän saakka kerääntyneen aineiston perusteella. Uoman varrella oleva verrattain runsas asutus ei ole aiheuttanut voimakasta veden laadun heikkenemistä. Veden laadun heikkenemisen ja altaiden tilan huonontumisen on aiheuttanut hidastunut virtaus, jolloin runsaan levästäön kehittyminen on tullut mahdolliseksi.

SEVOLAN (1979) mukaan Nurmonjoen kuivan uoman tila on ollut ajoittain huono. Vedessä on kasvanut levää, joka on aiheuttanut ympäristöön pahaa hajua. Huuhtelujuoksutusten vaikutustilanteen parantajana on tutkittu kesällä 1979. Huuhtelujuoksutukset paransivat veden laatua ns. kuivan jokiosan yläosalla, mutta huononsivat tilannetta alaosalla. Lisääntynyt virtaus vei mennessään pohjasta nousevan aineksen työntäen rehevöityneen ja runsaasti levää kasvavan veden edellään. Kerralla juoksutettava vesimäärä ei ollut riittävä koko jokiosan puhdistamiseen. Huuhtelun jälkeen tilanne palautui n. kahden viikon - kuukauden kuluessa ennen juoksutusta muistuttaneeksi (SEVOLA 1979).

Kasviplanktonin biomassassa Nurmonjoen vähävetisessä uomassa oli kesällä 1979 0,1 - 1,1 mg. (5 tutkimusta kesä-elokuussa). Biomassaa voidaan pitää varsin alhaisena. Veden käyttöarvon heikentyminen ei tämän perusteella johdu niinkään levästäön runsaudesta vaan sen laadusta: suurimman osan levästäöstä oli muodostanut hajua aiheuttavat lajit (yleisen Cryptomonas). Kiinnittynyttä levästäötä ei tutkimuksessa selvitetty.

13.3 Ennuste porrastetun uoman tilasta

13.3.1 Yleistä

Vähävetiseksi jäävän vanhan uoman tilaan vaikuttavat juoksutettava vesimäärä (laimennus) uomaan johdettavan veden laatu ja uomaan suoraan tulevan kuormituksen suuruus. Muutoksen nykyiseen tilaan aiheuttavat virtaaman vähenemisestä johtuva alentunut jätevesien laimentumisaste ja pienentynyt vesien vaihtuvuus. Nykytilanteessa vedet kulkeutuvat suunnittelualueen ohi 2 - 4 päivässä, mutta virtaaman vähentämisen ja porrastuksen jälkeen 2 - 3 kuukaudessa.

13.3.2 Tutkittavat tilanteet

Lämsänkoscikella tapahtuvaksi juoksutukseksi on esitetty nykyisen tasaisen $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ juoksutuksen ohella seuraavat vaihtoehdot (Oulun vesipiirin vesitoimisto 1980):

I	15.5 - 15.9.	(122 d)	$0,6 \text{ m}^3/\text{s}$
	16.9 - 14.5.	(253 d)	$0,15 \text{ m}^3/\text{s}$
II	1.6 - 30.8.	(91 d)	$0,7 \text{ m}^3/\text{s}$
	1.9 - 31.1.	(154 d)	$0,1 \text{ m}^3/\text{s}$
	1.2 - 30.4.	(90 d)	$0,3 \text{ m}^3/\text{s}$
	1.5 - 31.5.	(30 d)	$0,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Leuvan ohijuoksutusarvoksi onesitetty talvella $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja kesällä $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

13.3.3 Talvitilanne

Talvella orgaaninen aine aiheuttaa rasisheen happitilanteelle. Happitilanne määräytyy vanhan uoman viipymän, hapenkulutuksen intensiteetin ja jäätömissä kohteissa tapahtuvan ilmastumisen perusteella. Uoman tila määräytyy talvella pääasiassa happi-

tilanteen pohjalta. Uomaan tulisi johtaa sellainen virtaama, että happitilanne pysyisi tyydyttävänä. Eräänlaisena minimitasona voitaneen pitää happipitoisuutta 5 mg/l.

Vedenpinnan noston yhteydessä happitilanteeseen vaikuttavat tilavuuden suureneminen ja pidentynyt viipymä. Edellisen vaikutus on sinällään positiivinen mutta jälkimmäinen pyrkii heikentämään happitilannetta.

Jokiuoman happitilanteen laskemisessa on maassamme menestyksellisimmin sovellettu STREETER PHELPSin yhtälöä:

$$C = C_s - \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_2 T} - e^{-K_1 T}) - (C_{s_0} - C_0) e^{-K_2 T}$$

jossa C = happipitoisuus mg/l

C_2 = hapen kyllästyspitoisuus mg/l

C_{s_0} = hapen kyllästyspitoisuus alkutilanteessa mg/l

T = virtausaika d

C_0 = hapen alkupitoisuus mg/l

L_0 = BOD:n alkuarvo mg/l

K_1 = BOD -kerroin d^{-1}

K_2 = ilmastumiskerroin d^{-1}

Kaavaa voidaan soveltaa, kun tiedetään uomaan kohdistuva kuormitus ja vesitaseet. Ker-
toimet K_1 ja K_2 määrätään suoritettujen happimittausten perusteella.

Siikajoen vanha uoma Uljuan kohdalla ei ole ideaalinen happimallin soveltamiselle,
mutta happitilannetta porrastuksen jälkeen voidaan sillä kuitenkin karkeasti haarukoida.

Nykytilanteen tarkastelun perusteella voidaan mallin muuttujat ja vakiot määrätä seuraavasti:

<u>Uljua, nykytilanne:</u>	T	= 29 d
	L_0	= 2,3 - 3,6 mg O_2 /l (Uoman BOD-kuorm. 10-60 kg/d)
	C_0	= 11,1 mg/l
	C_2	= 14,6 mg/l
	C_{2_0}	= C_2
	K_1 (0°C)	= 0,05
	K_2	= 0

Todettu tilanne: 11,1 mg/l (O_2 , yläpuol.) → 8,7 - 10,9 mg/l
(O_2 alapuol.)

Mallin antama tulos: 11,1 mg/l → 8,3 - 9,3 mg/l

Tuloksesta ensimmäinen edustaa minimitalannetta ja jälkimmäinen keskimääräistä tilan-
netta. Vesimäärän vähäisyyden vuoksi on oletettu, että veden ilmastumista ei talvella
tapahtu. Malli antaa vähän huonomman tuloksen kuin nykytilanteessa on havaittu. Syynä
on mahdollisesti se, että Vornankoskessa tapahtuu jonkinasteista ilmastumista, tai
uoman BOD-kuormitus on määrätty liian suureksi.

Kun malli on saatu tulostamaan nykytilanne tyydyttävästi voidaan samoja kertoimia
hyväksikäyttämällä arvioida tulevaa tilannetta.

0 - 11 mg/l, mutta maalis-huhtikuussa 2 - 5 mg/l. Koska Lamujoesta tulevat vedet (+ Uljuan vedet) heikentävät vähävetisen uoman happitilannetta helmi-huhtikuussa ei Leuvan säännöstelypadolta tule kyseisenä aikana suorittaa ohijuoksutusta. Jos Vornankoskessa ja Hyttikoskessa järjestetään vesien hapetus pysynee veden happi-tilanne Leuvan vähävetisessä uomassa Uljuan vähävetisen uoman kautta tulevan virtaaman avulla tyydyttävällä tasolla. Leuvan ohi helmi-huhtikuussa suunniteltu virtaama voitaneen siirtää kesäkauteen.

13.3.4 Kesätilanne

Vähävetisen uoman tilaan vaikuttaa kesällä, niinkuin talvellakin, veden vaihtumisnopeus (uomaan johdettava virtaama). Koska vähävetisen uoman käyttö on kesäaikana selvästi suurempi kuin talvella, tulee uoman virtausta painottaa kesäkauteen. Kesä kautena uoman tilan määrää lähinnä rehevyysaste. Liiallinen levänkasvu aiheuttaa veteen mm. hajua. Happitilanne ei muodostu kesäaikana ongelmaksi.

Voimakkaasti humusväritteisistä vesistä on hyvin vähän tietoja ravinnepitoisuuden ja rehevyysasteen välisestä suhteesta. Typpipitoisuuden ja levä tuotannon välisestä suhteesta nykyinen tietämys on lähes olematonta. Siikajoen vanhassa uomassa on fosfaattia levästön kasvulle riittävästi, mutta mineraalityppi esiintyy suuren osan kasvukaudesta alhaisena pitoisuutena. Koska mineraalityypen pitoisuus ei Uljuan nykyisessä vähävetisessä uomassa näytä lisääntyvän, on toivoa, että sopivien tyyppiyhdisteiden puute muodostaisi vähävetisessä uomassa tekijän, joka hidastaa uoman rehevöitymistä.

Uljuan vähävetisessä uomassa ei nykytilanteessa ole rehevöityminen ollut kesätilanteessa voimakas veden käyttöarvoa laskeva ongelma. Uoman porrastus kasvattaa vesitilavuuden kaksinkertaiseksi. Porrastuksen jälkeiselle tilanteelle voitaisiin pitää miniminä uomassa nykyisin vallitsevaa tilannetta; jos viipymä pysyy nykyisellään, saa uomaan johdettava kuormitus saman laimentumisasteen kuin nykyisin, ja uoman ravintaso pysyy ennallaan. Uoman vesipinta-ala kasvaa jonkin verran nykyisestä, joten tämä jossain määrin lisää levä tuotantoa.

Uljuan vähävetisessä uomassa on kesäalivirtaaman aikana nykyinen vesien toereettinen vaihtumisaika 27 d. Veden pinnan noston jälkeen Lämsänkosc kelta tapahtuva juoksutus tulisi nostaa nykyisestä $0,3 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, jotta vesien vaihtumisaika säilyisi ennallaan.

Leuvan vähävetisessä uomassa kesätilanne muodostaa varsin vaikeasti arvioitavan ongelmakentän. Uljuan vähävetisen uoman kohdalla oli laskentaperusteena nykytilanne, jota ei Leuvan kohdalla ole käytettävissä.

Uljuan allas lisää veden mineraalityypen pitoisuutta kesä-heinäkuussa (tulvaveden patoamisen vaikutus). Koska lisäksi ravintaso Lamujoessa Uljuan yläpuolella on suurempi kuin Siikajoen yläosassa olisi ilmeisesti edullisinta, että Leuvan vähävetisen uoman juoksutus hoidettaisiin Lämsänkosc kelta käsin.

Mikäli Lämsänkosc kelta tapahtuva juoksutus ei riitä pitämään Leuvan vähävetisen uoman kuntoa tyydyttävänä, olisi jätettävä mahdollisuus juoksuttaa Lamujoesta heinä-elokuussa $1 \text{ m}^3/\text{s}$, jolloin viipymä porrastetussa uomassa alenisi 17 päivästä 10 päivään ja levien kasvupotentiaali heikentyisi selvästi.

13.3.5 Vähävetisen uoman tila

Siikajoen vähävetisen uoman tila muodostuu sitä paremmaksi mitä suurempi vesimäärä porrastettavaan jokiuomaan johdetaan. Kyseinen riippuvuus ei kuitenkaan ole suorasuuntainen. Virtaamaa vähennettäessä kohdataan tilanne, jolloin uoman kunto voimakkaasti heikkenee. Tämän selvityksen tarkoituksena on etsiä uomalle juoksutusohje, jonka avulla uoman tila ei voimakkaasti heikkenisi. Uoman käyttö liittyy lähinnä kesäkauteen, joten selvityksessä pyritään siirtämään talvikaudelle määrättyistä tai suunnitelluista juoksutuksista mahdollisimman paljon kesäkauteen. Kesä kautena on tärkeintä estää uoman voimakas rehevöityminen, jolla on useita vedenkäyttömuotoja haittaavia vaikutuksia, mm. hajoavan levästön aiheuttama haju. Talvitilanteessa on kuitenkin huomioitava, että happea on riittävästi uomassa mahdollisesti toimeentulvalle rapu-, made- ja haukikannalle.

Vähäisin juoksutustarve vähävetisessä uomassa on syksyllä ja kevättulvan aikana, jolloin happitilanne pysy hyvänä ja veden rehevöitymistä ei ulkoisten olojen vuoksi tapahdu. Lisäksi uoman omalta valuama-alueelta tulee tulloin enemmän vettä kuin muina vuodenaikoina.

Talvitilanne on hoidettava siten, että uoman happipitoisuus ei laske alle 5 mg/l. 4 - 6 m:n syvänteissä happitilanteen heikkeneminen kyseisen tason alle tulee joka tapauksessa tapahtumaan, mutta näiden kohteiden osuus koko uoman tilavuudesta ja pohjan pinta-alasta on hyvin vähäinen. Kyseisen tason yläpuolelta läpivirtaus vaihtaa vesiä.

Vähävetiseen uomaan kohdistuva orgaaninen kuormitus näyttää olevan verrattain vähäinen, ja tämä antaa toivoa siitä, että uoma pysyisi happitilanteen puolesta tyydyttävässä kunnossa varsin alhaisella virtaamalla. Uljuan vähävetiseen uomaan 10 vuoden aikana kehittynyt kasvillisuus ja sen hapenkulutus muodostaa enää vaaratekijän, jonka vaikutusta ei asiaa tutkimatta voida arvioida. Mikäli tämän merkitys on vähäinen, riittää talvella veden pinnan noston jälkeen nykyinen ohijuoksutus pitämään happitilanteen tyydyttävänä. Mikäli Vornankoskeen ja Hyttikoskeen rakennetaan hapettavat pohjapadot, myös Leuvan altaan kohdalle jäävässä vähävetisessä uomassa happitilanne pysynee tyydyttävänä. Lamujoesta ei talvella kannata juoksuttaa vettä vähävetiseen uomaan, koska Uljuan allas on heikentänyt veden happitilannetta.

Nurmonjoen vähävetisestä uomasta (Hirvijärven kohdalle) saatuja kokemuksia tulee hyödyntää Siikajoella. Vähävetisen uoman virtaama tulee nostaa mahdollisimman suureksi kesä-elokuun ajaksi. Jatkuva läpivirtaus estää uoman rehevöitymistä. Siikajoen vedessä on runsaasti ravinteita, joskin tyyppi on huomattavan suurelta osalta orgaanisesti sitoutunutta. Alhainen mineraalitiypen määrä rajoittanee leväyhteisön kasvua.

Nurmonjoen vähävetisen uoman havainnot osoittavat, että uoman juoksutus tulee määrätä koko kesäkaudelle sille tasolle, että liiallinen rehevöityminen estettäisiin. Lyhytaikaiset huuhtelujuoksutukset eivät pelasta tilannetta. Nurmonjoen porrastettuun vähävetiseen uomaan johdettiin kahden päivän aikana $3 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamaa käyttäen vesimäärä, joka oli 1,4^{altaiden} tilavuus. Toisella kertaa juoksutusaika pidennettiin 6 vrk:een ja juoksutus oli $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$, jolloin juoksutettu vesimäärä oli 4 x altaiden tilavuus. Kumpikaan huuhtelu ei parantanut kokonaistilannetta vähävetisessä uomassa. Jos jokiuoman porrastettuihin altaisiin pääsee syntymään voimakas leväkukinta ei tämä poistu hetkellisillä huuhtelujuoksutuksilla vaan virtaamaa on pitkäaikaisesti lisättävä kesäaikana.

Vesioikeuden määräämästä Uljuan ohijuoksutusohjeesta voidaan syksyn ja alkutalven virtaamaa siirtää kesäkauteen niin, että porrastuksen jälkeen vesien vaihtuvuus Uljuan vähävetisessä uomassa on samaa suuruusluokkaa kuin nykyisin. Tällöin voidaan

olettaa, että uoman kunto ei nykyisestä oleellisesti heikkenisi. Vaikeammin on arvioitavissa millainen tilanne kehittyy Leuvan altaan kohdalle jäävään vähävetiseen uomaan. Lamujoen vesi on runsasravinteisempaa kuin Siikajoen yläosan vesi. On ilmeistä, että Uljuan allas vielä syventää mainittua eroa. Tämän vuoksi olisi Leuvan vähävetisen uoman juoksutus edullisinta hoitaa Lämsänkoskelta käsin. Lamujoesta voitaisiin juoksuttaa vettä vain sen verran, että Lamujoen suuosan veden laatu olisi turvattu.

14. TOIMENPITEET HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN TORJUMISEKSI

14.1 Altaan yläpuolinen vesistö

Leuvan altaan yläpuolisissa varastoissa on säilytettävä sellainen vesimäärä, että altaan tulovirtaama on talvella riittävä happitilanteen kannalta. Tilanne altaassa muodostuu talvella nopeasti huonoksi, mikäli altaaseen ei voida juoksuttaa vettä.

Kevättalven tilanne Leuvan altaassa muodostuu ilman lisätoimenpiteitä heikoksi. Altaan täyttöuomaan tulee tämän vuoksi tehdä hapetusporras.

Leuvan altaan täyttö tulee suorittaa siten, etteivät Uljuan altaaseen tulven jäljeltä jääneet runsasravinteiset vedet jää Leuvan altaaseen.

14.2 Allasalue

Rakennusaikaisen samennuksen pääsy vesistöön on huolellisesti estettävä. Turpeen noususta ja sen ehkäisemiseen tarvittavista toimenpiteistä tulee laatia erillisselvitys. Allasalue on perusteellisesti raivattava.

14.3 Vanha uoma

A. Vesioikeuden edellyttämän ja suunnitelmassa esitetyn vesimäärän sopiva jakaminen

1. Mikäli vain Uljuan vähävetinen uoma porrastetaan

Lämsänkoski:	1.6 - 30.8. (91 d)	0,7 m ³ /s
	1.9 - 31.1. (154 d)	0,1 m ³ /s
	1.2 - 30.4. (90 d)	0,3 m ³ /s
	1.5 - 31.5. (30 d)	0,1 m ³ /s

2. Mikäli Uljuan vähävetinen uoma porrastetaan ja Leuvan tekojärvihanke toteutetaan

Vaihtoehto_a:

Lämsänkoski:	1.6 - 30.8. (91 d)	1,2 m ³ /s
	1.9 - 31.1. (154 d)	0,1 m ³ /s
	1.2 - 30.4. (90 d)	0,3 m ³ /s
	1.5 - 31.5. (30 d)	0,1 m ³ /s

Lamujoki:	1.6 - 31.1. (245 d)	0,05 m ³ /s
-----------	---------------------	------------------------

Vaihtoehto_b:

Lämsänkoski:	1.6 - 40.8. (91 d)	0,7 m ³ /s
	1.9 - 31.1. (154 d)	0,1 m ³ /s
	1.2 - 30.4. (90 d)	0,3 m ³ /s
	1.5 - 31.5. (30 d)	0,1 m ³ /s

Lamujoki: 1.6 - 30.8 (91 d) 0,54 m³/s
 1.9 - 31.1. (154 d) 0,05 m³/s
 1.2 - 31.5. (120 d) ei juoksutusta

Kesätilanteessa vesien vaihtumisaika on kohdassa 1 ja kohdan 2 vaihtoehto a:ssa (koko systeemi) samaa suurusluokkaa kuin on nykyisin Uljuan vanhassa uomassa. Vaihtoehdossa b vaihtumisaika on vähän suurempi ja lisäksi Leuvan vanhaan uomaan tulee enemmän ravinteita kuin vaihtoehdossa a. Uoman tilan kannalta vaihtoehto a on turvallisempi kuin vaihtoehto b.

B. Muut toimenpiteet

- Vornankoskeen ja Hyttikoskeen kannattaa järjestää hapettava pohjapato.
- Vornankosken yläpuoliseen altaaseen ja Hyttikosken alapuoliseen altaaseen tulee järjestää jatkuva veden laadun seurata; talvella on tutkittava happitilannetta (vertikaalisesti) ja kesällä klorofylli a:n määrää. Mikäli happitilanne 0 - 4 m:n vesipatsaassa laskee talvella alle 5 mg/l ja klorofyllipitoisuus on kesällä yli 20 mg/l tulee ryhtyä toimenpiteisiin tilanteen parantamiseksi.
- Ennen veden pinnan nostoa Uljua vähävetisessä uomassa veden alle jäävää aluetta on raivattava.
- Mikäli Leuvan altaan vähävetisessä uomassa ilmenee rehevöitymisongelmia tulee Lamujoen säännöstelypadolta juoksuttaa uomaan vettä heinä-elokuussa 1 m³/s.

14.4 Alapuolinen vesistö

Alapuolisen vesistön veden laadun kannalta olisi edullista, jos järjestettäisiin myös Leuvan altaasta lähtevien vesien hapetus talven aikana. Leuvan altaan rakentamisen myötä poistuu Lamujoesta tulevien vesien vuorokausi- ja viikkosäännöstelyä tasoittava vaikutus. Altaan alapuolelle on rakennettava pohjapatoja ja säännöstely on hoidettava siten, ettei tämä aiheuta haitallista veden laadun muuttumista joen alaosalla.

15. TIIVISTELMÄ

Selvityksessä ennustetaan Siikajokeen, Uljuan tekoaltaan alapuolelle suunnitellun Leuvan tekoaltaan vedenlaatua, rehevyysastetta ja vaikutuksia erityisesti vesistön happitalouteen. Lisäksi esitetään toimenpiteitä, joiden avulla altaan vaikutuksia voitaisiin eliminoida.

Ennuste perustuu muista Pohjanmaan tekoaltaista, ennen kaikkea Uljuan altaasta, saatuihin kokemuksiin. Koska on perusteltua odottaa, että Leuvan altaan vaikutukset ovat samansuuntaiset kuin Uljuan altaan, esitetään tässä selvityksessä Uljuan altaasta kerääntynyt tutkimusaineisto ja siitä tehtävät johtopäätökset.

Vaikka tekoaltaan veden laatua huonontava vaikutus alapuolisessa vesistössä voi tuntua voimakkaana vain lyhyen ajan, ei tätä voida väheksyä. Minimitilanteet voivat olla eliöstön kannalta hyvinkin vahingollisia ja heijastumat selvästi havaittavissa. Veden keskimääräinen laatu ei ratkaise eliöstön esiintymistä ja viihtymistä, vaan minimitilanteet ovat tärkeitä. Altaiden vaikutuksia selvitettyäessä ovat talven happitilanne ja kesän rehevyysaste ne, johdon erityinen huomio tulee kohdistaa.

Tekoaltaiden veden laatua heikentävän vaikutuksen on todettu painottuvan talvikauteen. Vaikutus ei ole samanasteinen kaikissa altaissa, vaan tilanteen kehittymiseen vaikuttavat altaan rakenteelliset piirteet. Talvella on altaan veden laadun kannalta hyvin tärkeää, millaiseksi happitilanne muodostuu. Veden muut laatumuutokset ovat huomattavalta osalta yhteydessä tähän. Happitilanteen taas ratkaisee se, kuinka kauan ja miten suurta happivarastoa pohjasedimentti kuluttaa (= viipymä ja keskisyvyys).

Happitilanteen ennustamisessa käytetään PERTTUSEN (1979) happitasemallia. Malli on kehitetty Uljuan altaalle. Kertoimia muuttamatta mallilla saatiin talven happitilanne Hautaperän altaassa tasolle, joka siellä on mittauksien avulla todettu. Myös hyvin lyhyen viipymääjan omaavan Pitkämön altaan happitilanne on ollut lähellä tasoa, joka mallin avulla saadaan.

Kuten edellä on todettu, yksi ratkaiseva tekijä tekoaltaan veden laadun kannalta on sen viipymä. Leuvan altaassa teoreettinen viipymä on talvella samaa suuruusluokkaa (1 - 15 d) kuin Pitkämön altaassa ja selvästi lyhyempi kuin muissa Pohjanmaan altaissa. Altaan mataluus on kuitenkin epäedullinen piirre ja altaaseen tulevien vesien laatu on verrattain heikko. Välittömästi Leuvan yläpuolella sijaitsee Uljuan allas, joka on kooltaan Leuvaa suurempi.

Talven happitilanne Uljuan altaassa on heikko. Maalis-huhtikuussa altaassa ja siitä lähtevässä vedessä happi loppuu yleensä kokonaan. Uljuan altaan alapuolella Lamujoen vedet nostavat veden happipitoisuuden tasolle 2 - 5 mg/l. Jos tällaista vettä johdettaisiin ilman lisätoimenpiteitä Leuvan altaaseen, muodostuisi tilanne altaassa yhtä heikoksi kuin Uljuassa. Tilanteen parantamiseksi voidaan käyttää hyväksi Lamujoen vesien säännöstelyä ja vesien ilmastamista hapetusportaiden avulla.

Kun Lamujoen vesiä pidetään kolme ensimmäistä talvikuukautta ja juoksutus suoritetaan hapetusportaan kautta silloin, kun tilanne on Uljuassa heikoin, ei happitilanne Leuvan altaassa ratkaisevasti parane. Selvästi parempi ratkaisu on järjestää vesien hapetus Leuvan täyttökanaavaan. Tämä järjestely vaikuttaa Uljuan putouskorkeuteen. Tätä vaikutusta voidaan pienentää aloittamalla hapetus helmikuun alusta alkaen, jolloin tilanne Leuvan altaassa ei vielä ole mennyt heikoksi. Leuvan altaan kannalta paras tulos saavutettaisiin, jos täyttöuoman vesien hapetus aloitettaisiin talven alusta. Näillä järjestelyillä, ja kun vielä Leuvan altaasta lähtevät vedet hapetetaan, muodostuu happitilanne tyydyttäväksi Siikajoen alajuoksulla.

Talvella altaan vaikutus veden muihin ainepitoisuuksiin on kytkeytynyt happitilanteeseen. Uljuan allas aiheuttaa happiminimin veden humus-, rauta- ja fosforipitoisuuden kohoamisen. Mikäli Leuvan altaan happitilanne saadaan tyydyttäväksi, ei siellä tapahdu vastaavaa veden laadun heikkenemistä talven aikana. Leuvan altaan kohdalla vähävetiseksi jäävässä Siikajoen vanhassa uomassa pysyy happitilanne tyydyttävänä, mikäli uoman varrella olevissa talouksissa jätevedet käsitellään asianmukaisesti.

Kesätilanteessa altaan vedet sekoittuvat ja ilmastuvat. Uljuan altaassa happipitoisuus alenee kesälläkin jonkin verran, mutta kokonaisuutena tällä muutoksella ei vesistön tilan kannalta ole suurta merkitystä.

Kalojen makuvirheet ovat Siikajoen alajuoksulla tuntuneet voimakkaina vuosina 1978 ja 1979. Erityisesti makuvirheet ovat haitanneet nahkiaisen pyyntiä. Näyttää siltä, että makuvirheet olisivat yhteydessä levästöön, mutta kokonaisuutena syy-yhteydet eivät ole vielä selvinneet; Uljuan altaassa makuvirheet eivät ole olleet sellainen ongelma kuin Siikajoen alajuoksulla.

Uljuua edeltävältä ajalta ei Siikajoesta ole käytettävissä kasviplanktonaineistoa. Joen vesi on kuitenkin luonnostaan hyvin ravinnepitoista. Ennen Uljuan allasta ei joessa ollut järviällästä, jossa levästön kehittyminen olisi päässyt tapahtumaan. Siikajoen pääuomassa vedet kulkeutuvat muutamassa päivässä mereen saakka. Runsas humusaines heikentää valaistusta vedessä ja joen virtaus aiheuttaa syvyys-suuntaista sekoittumista. Nämä seikat vaikuttavat siihen, että kasviplankton ei pääse kehittymään voimakkaaksi. Vesien patoaminen Uljuan altaaseen on tämän mahdollistanut. Uljuan altaan alapuolisessa vesistössä on altaassa syntyneen levästön hajoaminen todennäköisesti vallitsevampi suuntaus kuin uuden syntyminen.

Eräs hypoteesi makuvirheiden aiheuttajasta on se, että Uljuan allas kasvattaa levämassaa, joka hajoaa joen alajuoksulla ja aiheuttaa veteen ja kaloihin pahaa makua. Uljuan altaassa tavatut levämäärät ja levälajisto ei kuitenkaan näytä yksiselitteisesti tukevan mainittua hypoteesia. Mikäli tämä hypoteesi pitäisi paikkansa, syventäisi Leuvan allas Siikajoen alajuoksulla todettuja vaikutuksia, koska altaaseen voi kehittyä voimakas leväkasvusto.

Selvin muutos, jonka Uljua on aiheuttanut levätuotantoon vaikuttavaan veden kemian osalta, on mineraalityypen pitoisuuden nousu kesäkuukausina; tästä johtuen typpifosfori-suhde on muuttunut lähelle levätuotannon optimiarvoa. Vedet viipyvät kesäaikana Uljuan altaan alapuolisella jokiosuudella kuitenkin vain muutaman päivän, jolloin virtaavassa ruskeassa vedessä planktisen levästäön lisääntyminen on vähäistä ja ravinnepotentiaali jää käyttämättä. Pohjalle kiinnittyvällä levästäöllä on mahdollisuus hyödyntää muuttunutta ravinnetilannetta, joten pohjalevästäön osuutta asiassa kannattaa selvittää. Kalajoella tehdyt havainnot eivät vahvista ravinteiden osuutta asiassa; Kalajoessa ravinteita on enemmän kuin Siikajoessa ja Kokkolan vesipiirin vesitoimiston tutkimusten mukaan nahkiaisten makuvirheitä ei Kalajoen suulla ole tavattu.

Leuvan allas ei kesäaikana mainittavasti muokkaa ravinnetasoa levästäölle edulliseen suuntaan. Vedessä oleva käyttämätön ravinnepotentiaali mahdollistaa kuitenkin suotuisissa olosuhteissa levästäön voimakkaan lisääntymisen. Altaan mataluus on edullinen piirre levästäön kehittymistä ajatellen. Syvälle sekoittuminen runsaasti humusta sisältävässä altaassa (huonot valaistusolot) pientää levästäön kasvupotentiaalia. Leuvan altaan viipymä ei kesäaikana ole liian pieni levänkasvua ajatellen; 15 - 25 d:n viipymän omaavassa järvessä voi kehittyä voimakas leväkukinta, mikäli muut olosuhteet sen sallivat. Runsaan humusaineen johdosta ei levästä voi tehokkaasti hyödyntää koko ravinnekapasiteettia, jonka altaaseen tuleva vesi tarjoaa.

Altaan kohdalle jäävässä porrastettavassa vanhassa uomassa liiallinen levänkasvu muodostanee selvän haitan, mikäli uoman virtaama on liian alhainen. Tilannetta voidaan korjata lisäämällä uoman virtaamaa kriittisenä aikana. Koska vanhan uoman käyttö ja tilan potentiaallinen huonontuminen on kesäaikana selvästi suurempi kuin talvella, tulee uomaan johdettavaa virtausta painottaen kesäkauteen. Kesäkautena uoman tilan määrää lähinnä rehevyysaste. Liiallinen levänkasvu aiheuttaa veteen mm. hajua. Hapitilanne ei muodostu kesäaikana ongelmaksi.

FORECAST OF THE EFFECTS OF THE LEUVA ARTIFICIAL LAKE ON THE STATE OF THE RIVER SIIKAJOKI

SUMMARY

In this paper, the water quality and trophic status of the Leuva artificial lake planned to be built in the river Siikajoki downstream of the Uljua artificial lake as well as its effects on the oxygen economy of the waterway system are forecast. In addition to this, some measures for eliminating the effects of the artificial lake are proposed.

The forecast is based on experiences obtained from the other artificial lakes located in the Pohjanmaa region, particularly the Uljua lake. Since it is reasonable to expect that the effects of the Leuva artificial lake will be parallel to those noted in the Uljua artificial lake, the research material obtained from the Uljua lake and the conclusions that can be drawn on the basis of the findings are presented.

Although the noxious effects of an artificial lake on the downstream water quality may be great for only a short period, their importance should not be underestimated. Minimum situations may be notably harmful for organisms and their consequences clearly observable. The average water quality is not crucial for the presence and well-being of organisms, but the minimum situations are important. When surveying the effects of artificial lakes, particular attention should be given to the wintertime oxygen situation and the summertime trophic status.

Artificial lakes have been found to impair water quality mostly in winter. The effects are not identical in the different artificial lakes, but the development of the situation is affected by the structural characteristics of each lake. In winter, the water quality of an artificial lake is to a notable extent, determined by the oxygen situation. The other changes in water quality are largely related to this. The oxygen situation, in turn, depends on how long and how great an oxygen store is consumed by the bottom sediment (= and mean depth).

The oxygen situation is predicted using the oxygen balance model described by PERTTU-NEN (1979). The model was developed for the Uljua artificial lake. By altering the coefficients in the model, it was possible to calculate the wintertime oxygen situation of the Hautaperä artificial lake in a manner that was parallel with the measurements made there. The oxygen situation of the Pitkämä artificial lake, whose retardation is very short, has similarly been near the level obtained with the model.

As it was pointed out above, one crucial factor for the water quality of an artificial lake is its retardation. In the Leuva artificial lake the theoretical retardation in winter is of the same order (1 - 15 d) as the retardation of the Pitkämä lake, being clearly smaller than the corresponding values in the other artificial lakes in the Pohjanmaa region. The shallowness of the Leuva lake is, however, a disadvantageous feature, and the waters flowing into the lake are of relatively poor quality. Immediately upstream of Leuva there is the Uljua artificial lake, which is larger in size than Leuva.

The wintertime oxygen situation of the Uljua artificial lake is poor. In March or April, oxygen is generally completely depleted in the artificial lake and the water leaving it. Downstream of the Uljua lake, the waters of the Lamujoki river bring up the oxygen content of the water to 2 - 5 mg/l. If this water were allowed to enter the Leuva artificial lake without any further measures, the situation in Leuva would be equally poor as in Uljua. To improve the situation, it is possible to regulate the waters of the Lamujoki river and to aerate the waters by means of oxygenation steps.

If the waters of the Lamujoki are suspended for the first three winter months and drained through oxygenation steps when the situation of Uljua is poorest, the oxygen situation of the Leuva artificial lake is not essentially improved. A clearly better solution is to arrange the oxygenation of waters in the filling channel of the Leuva lake. This arrangement affects the vertical drop of Uljua. This effect can be minimized by starting the oxygenation at the beginning of February, when the situation in the Leuva artificial lake is not yet very bad. The best outcome for the Leuva artificial lake would be achieved if the oxygenation of water in the filling channel were started at the beginning of the winter. Using these arrangements, and by further oxygenating the waters leaving the Leuva artificial lake, the oxygen situation of the Siikajoki river downstream of Leuva can be kept satisfactory.

In winter, the effects of an artificial lake on the other substance concentrations of water are related to the oxygen situation. During the oxygen minimum in the Uljua artificial lake, the humus, iron and phosphorus concentrations of water increase. Provided that the oxygen situation of the Leuva artificial lake can be made satisfactory, no corresponding deterioration of water quality during the winter will take place there. The oxygen situation of the old Siikajoki river bed, which has relatively little water at the point where the Leuva lake is located, will remain satisfactory, if the waste waters of the households by the river are treated appropriately.

In summer, the waters of the artificial lake are mixed and aerated. In the Uljua artificial lake, the oxygen content drops somewhat even in summer, but, as a whole, this change has no great significance for the state of the waterway system.

A bad taste of fish was particularly notable at the lower course of the river Siikajoki in the years 1978 and 1979. Especially the catch of lamprey was affected by the taste. It seems that the bad taste may have been due to algal growth, but the causal relations are not completely clear yet; no corresponding problem due to bad-tasting fish has been encountered in the Uljua artificial lake.

No phytoplankton data are available on the Siikajoki river prior to the time of building the Uljua artificial lake. The water of the river is, however, naturally quite rich in nutrients. Before the Uljua lake was constructed, the river had no artificial lakes where algal growth could have taken place. In the main bed of the Siikajoki river, the waters reach the sea within a few days. The abundant humus present in the water impairs the illumination, and the flow of the river brings about vertical mixing. These factors prevent any marked growth of phytoplankton. The damming of waters in the Uljua artificial lake, on the other hand, has permitted phytoplankton development. In the waterways downstream of the Uljua lake, decomposition of the algae grown in the lake is probably a more prevalent trend than new algal growth.

One hypothesis concerning the cause of the bad taste is that the Uljua artificial lake grows an algal mass which decomposes further downstream, causing bad taste in the fish. Nevertheless, the quantities and species of algae found in the Uljua artificial lake do not seem to support straightforwardly this hypothesis. If this hypothesis were valid, the Leuva artificial lake would enhance the effects noted at the lower course of the Siikajoki, because intensive algal growth may take place in the lake.

The clearest change that Uljua has brought about in the water chemistry affecting algal production is the increase of the mineral nitrogen concentration during the summer months; as a consequence, the nitrogen - phosphorus ratio has approached the optimum value of algal production. In the summertime, however, the waters flow

through the river downstream of the Uljua lake in a few days, which means that algal propagation in the flowing brown water is slight and the nutrient potential remains unutilized. Algae attaching to the bottom are able to utilize the altered nutrient situation, and hence the role of bottom algae should be elucidated. The observations made in the Kalajoki river do not confirm the role of nutrients in this phenomenon; the nutrient content of the Kalajoki is higher than that of the Siikajoki, and the investigations carried out by the Hydrological Office of the Kokkola Waterways District have revealed no bad taste in the lampreys caught at the mouth of the Kalajoki.

During the summer, the Leuva artificial lake hardly modifies the nutrient level in a manner favourable for algal growth. The unexploited nutrient potential present in the water, however, makes it possible for the algae to increase greatly under favourable conditions. The shallowness of the lake promotes the development of algae. Deep vertical mixing in an artificial lake containing abundant humus (poor illumination) diminishes the growth potential of algae. The retardation of the Leuva artificial lake in summer is not too small for algal growth; in a lake with retardation time of 15 - 25 d, an intensive algal bloom may develop if the other conditions permit it. Owing to the abundant humus, the algae cannot effectively utilize the whole nutrient capacity provided by the in-flowing water.

In the old river bed that remains at the site of the artificial lake and is to be constructed stepwise, excessive algal growth will probably be a definite disadvantage if the flow is too small. The situation can be improved by increasing the flow in the river bed at the critical time. Since the use and the potential deterioration of the state of the old river bed are clearly more notable in summer than in winter, the flow to be directed into it should be concentrated to the summer period.

In summer, the state of the river bed is mainly determined by the trophic status. Excessive algal growth brings about a smell in the water, for instance. The oxygen situation is no problem in summer.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALASAARELA, E. 1979: Pohjanmaan tekoaltaista tehtyihin tutkimuksiin perustuva ennuste Luonuan altaan veden laadusta ja vaikutuksesta Pyhäjoen vesistössä. - Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto. 60 s. Oulu (mimeogr.).
- HEINONEN, P. 1981: Tekojärvien veden laadun kehittyminen ja vaikutukset. - Maanparannus- ja vesitaloussymposiumi 25-26.8.1981. Rovaniemi (mimeogr.).
- HEINONEN, P. & AIRAKSINEN, E. 1974: Lokan ja Porttipahdan tekojärvien tilan kehittymisestä vuosina 1971-1974. - Vesihallitus. Tiedotus 77. 51 s. Helsinki.
- JOKELA, S. & HONGELL, L. 1980: Säilörehun, puristemehun ja muun hajakuormituksen vaikutus Malisjoen veden laatuun. Ympäristö ja terveys 1: 36-42.
- KAUPPI, L. 1979 a. Phosphorus and nitrogen input from rural population, agriculture and forest fertilization to watercourses. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, No 34: 35-46.
- KAUPPI, L. 1979 b: Effect of drainage basin characteristics on the diffuse load of phosphorus and nitrogen. Publications of the Water Research Institute 30: 21-41.
- KENTTÄMIES, K. 1980: Characteristics of the water of Finnish man-made lakes. - Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 39. Vesihallitus.
- KILPINEN, I. 1979: Vesistötöiden työnaikaisesta vaikutuksesta veden laatuun Kalajoen vesistössä. - Diplomityö, Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. 79 s. Oulu.
- KINNUNEN, K., NIEMI, J., ELORANTA, J. & PERTTUNEN V. 1978: Water quality modelling in Finland. - Nordic hydrological conference and second nordic IHP meeting in Hanasaari July 31 - August 3, 1978. Papers of sessions. Inv. 24-42.
- KINNUNEN, K. 1981: - Veden laadun ennustaminen tekojärvissä. - Maanparannus- ja vesitaloussymposiumi 25-26.8.81. Rovaniemi (mimeogr.).
- LAKSO, E. 1979: Kalajoen ilmastuskokeista. Rakennustekniikka n:o 4: 259-263.
- MESKUS, E. & SALMELA, R. 1976. Tepaston allashanke. Alueen nykyinen veden laatu, kalasto ja kalastus sekä ennuste veden laadusta ja kalataloudesta. - Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto. 91 s. Oulu. (mimeogr.)
- MYLLYMAA, U. 1978: Siikajoen veden laadun kehittyminen Uljuan altaan käyttöönoton jälkeen. - Suomen kalastuslehti 85 (5): 122-124.
- MYLLYMAA, U. & YLITOLONEN, A. & ALASAARELA, E. 1979. Spread of the waters from the river Siikajoki in the Bothnian Bay. - VH, Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 30, s. 51-61.
- NENONEN, M-L. 1978. Kemijoen vesistön veden laadusta ja ainevirtaamista. - Kemijoen vesiensuojeluyhdistys ry. 26 s. (mimeogr.)
- OULUN VESIPIIRIN VESITOIMISTO 1980: Siikajoen pohjapatojärjestelyt välillä Lamujoki-suu - Lämsänkoski. - 12 pp + app Oulu (mimeogr.)
- PERTTUNEN, V. 1979. Uljuan altaan happimalli. - Oulu. (mimeogr.)
- PERTTUNEN, V. & ALASAARELA, E. 1981: Applying the oxygen model of Uljua to some artificial lakes. - Aqua Fennica 1981 (in press).
- RANTA-PERE, V. 1974: Vesistöjen hajakuormituksen arvioiminen. Ympäristö ja Terveys 4-5: 309-321.

- SALMELA, R. 1978: Siikajoen yhteistarkkailu, kalatalousosa: Yhteenvedo vuoden 1977 selvityksistä. (mimeogr.) 17 s.
- SALMELA, R. 1979: Siikajoen yhteistarkkailuun liittyvä kalatalousselvitys v. 1977-78. (mimeogr.) 40 s.
- SEVOLA, P. 1979: Nurmonjoen huuhtelujuoksutuksen 20.6-21.6.1979 vaikutus veden laatuun. (mimeogr.) 15 s.
- VESIHALLITUS 1978: Pohjanmaan pohjoisosan vesien käytön kokonaissuunnitelma. - Vesi-hallitus. Tiedotus 137: 1-328.
- VOGT, H. 1976: Tekojärvien ympäristövaikutukset. (Environmental effects of the man-made lakes; in Finnish). Vesiyhdistys r.y.:n vesipäivät 11-12.5.1976 "Suuret tekojärvet", s. 55-74.
- VOGT, H. 1978. An ecological and environmental survey of the humic man-made lakes in Finland. - Aqua Fennica 8: 12-24.
- WESTMAN, K. 1974. Uljuan tekoaltaan rakentamisen vaikutukset alapuolisen Siikajoen rapukantoihin v. 1969. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Tiedonantoja 1: 37-55.
- YLISAUKKO-OJA, B. 1973. Tutkimuksia veden laatuun ja käyttökelpoisuuteen vaikuttavista tekijöistä lijoella Raasakan tulvauomassa. - Diplomityö. 90 s. Oulun yliopiston rakennusinsinööri-osasto.

